



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

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Влияние гололёда на линии электропередач»

Исполнитель Комбарова Анастасия Александровна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Мханна Ааед Исмаил Назир
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И.о. заведующий кафедрой

(подпись)

Доктор физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Дробжева Яна Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«03» июня 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

Содержание

СОКРАЩЕНИЯ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕВЕРНОГО КАВКАЗА ...	7
1.1. Описание и климатические особенности исследуемой территории.....	7
1.2. Районирование территории по толщине стенки гололёда.....	14
2. УСТРОЙСТВО ЛЭП	18
2.1. Общее устройство ЛЭП.....	18
2.2. Особенности воздушных и кабельных линий электропередач.....	23
2.3. Гололед и изморозь на проводах линий электропередачи и борьба с ними.....	25
2.3.1. Система контроля гололедообразования.....	29
3. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ И СИНОПТИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГОЛОЛЁДА	33
3.1. Условия образования гололеда.....	33
3.2. Условия образования гололёда на ЛЭП.....	34
4. АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ НАРАСТАНИЯ ГОЛОЛЁДА ПО ДИАМЕТРУ ОТЛОЖЕНИЯ	41
4.1. Анализ случаев ГИО в Ставропольском крае за период 2019-2023 гг.	41
4.2. Подробное рассмотрение случаев обрыва проводов ЛЭП в Буденовском округе	50
4.2.1 Синоптическая обстановка	51
4.2.2. Вычисление интенсивности нарастания гололёда	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	63

СОКРАЩЕНИЯ

ЛЭП- линии электропередач

ВЛ – воздушные линии

ВВЕДЕНИЕ

Воздушные линии (ВЛ) являются ответственным и в то же время одним из самых уязвимых элементов электроэнергетической системы, повреждение и аварийное отключение ВЛ приводит к значительному ущербу для сетевых организаций и потребителей. Наиболее тяжелыми и трудноустраняемыми авариями на ВЛ являются гололёдные аварии, которые вызываются образованием гололёдных отложений на проводах ВЛ, что в сочетании с ветровыми нагрузками может явиться причиной обрыва проводов, поломки траверс и опор. Гололёдные аварии часто носят массовый характер и приводят к большому экономическому ущербу.

Образование гололеда на проводах и тросах линий электропередачи (ВЛ) может явиться причиной тяжелых аварий, связанных с короткими замыканиями, обрывами проводов и тросов и даже поломкой траверс и опор. Восстановление линий, поврежденных гололедом, требует больших затрат средств и времени. Эффективным способом обеспечения надежной работы ВЛ в гололедных районах является плавка гололеда электрическим током, которая позволяет в короткое время (0,5-1 ч) удалить гололед с десятков километров линий. Воздушные линии сооружаются в открытой местности и поэтому подвергаются различным атмосферным воздействиям. Гололедно-изморозевые образования - под таким общим названием подразумевается образования из гололеда и изморози твердых атмосферных осадков, к числу которых относятся иней, кристаллическая изморозь, зернистая изморозь, гололед и смешанное образование гололеда и изморози, а также мокрый снег.

Основным источником информации о возможном образовании гололёда на ВЛ по-прежнему являются прогнозы погоды (температура окружающего воздуха, осадки, влажность воздуха, скорость и направление ветра), данные о текущем состоянии погоды, штормовые предупреждения об опасных метеорологических явлениях.

Следовательно, тема исследования является актуальной, т.к., в работе рассматриваются факторы, влияющие на образование гололедных отложений на ЛЭП, и проводится анализ их влияния на линии электропередач.

Объектом изучения данной работы являются гололедные явления.

Предметом изучения являются условия образования гололедных явлений на линиях электропередач.

Цель данной работы - изучить условия для появления гололедных явлений, провести анализ их пространственного распределения и влияния на ЛЭП, на примере территории Ставропольского края.

Для реализации поставленной цели решаются следующие задачи:

- изучить метеорологические и синоптические условия образования гололёда;
- изучить виды гололёдных явлений;
- изучить устройство и характеристики ЛЭП
- изучить меры борьбы с гололёдом на линиях электропередач.
- рассмотреть физико-орographicические и климатические особенности Ставропольского края;
- провести анализ случаев гололёдных явлений на территории Ставропольского края.

Данные, используемые в работе, были предоставлены Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова за период 2019 – 2023 гг.

Структура работы включает в себя: введение, основную часть, состоящую из трех глав и заключение.

В первой главе описываются физико-географические особенности исследуемой территории. Во второй главе, устройство линий электропередач их особенности и меры борьбы с гололёдом на линиях. В третьей главе рассматривается понятие гололёда как природного явления, его виды, условия образования и опасность. В четвертой главе анализируются данные метеостанций о случаях гололёдных явлений, случаи обрыва проводов из-за

гололедообразования на ЛЭП, рассчитывается интенсивность нарастания гололеда.

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Особенностью работы воздушных линий электропередачи в регионах Северного Кавказа в осенний, зимний и весенний периоды является подверженность их воздействию гололедно-ветровым явлениям. Практически ежегодно на территории воздушные линии электропередачи подвергаются воздействию гололеда и сильного ветра. Как показывает опыт эксплуатации воздушных линий, наиболее частому воздействию гололедных нагрузок подвержены линии электропередач, трассы которых проходят по предгорьям Главного Кавказского хребта, по территориям Ставропольского края, Республики Калмыкия и Ростовской области.

Ставропольский край является важным центром сельского хозяйства, производства минеральных удобрений, изделий стекольной промышленности, розливу минеральных вод и напитков, крупнейшим курортным и туристическим регионом. Профильную роль в структуре промышленности в крае играет электроэнергетика, химическая, пищевая промышленность, производство газообразного топлива.

Все это требует огромного количества затрат электроэнергии. Для поддержания стабильного поступления электроэнергии нужно следить правильной эксплуатацией электростанций и линий электропередач и контролировать аварийные ситуации, поломки и обрывы проводов.

Гололёд на линиях электропередач может быть причиной аварий или поломок на линиях, важно преждевременно его спрогнозировать и применить меры безопасности для ЛЭП.

1.1. Описание и климатические особенности исследуемой территории

Территория Кавказа отличается сложными физико-географическими и почвенно-климатическими условиями и часто подвергается отрицательному воздействию опасных гидрометеорологических явлений.

Ландшафтно-географическое своеобразие Кавказа обуславливается мощной горной системой Главного Кавказского хребта или Большого Кавказа, отделяющего Северный Кавказ, или Предкавказье, от Закавказья, расположенного к югу от основного водораздельного хребта.

Несмотря на преобладание на Кавказе горных ландшафтов в его состав входят также и обширные низменности, и равнины, которые главным образом занимают районы Предкавказья (Краснодарский и Ставропольский края) и разные части территории между Большим и Малым Кавказом.

В связи с различиями рельефа и климата на Кавказе наблюдается большое разнообразие природных условий. По основным чертам рельефа и орографии Кавказ делится на несколько крупных областей – Большой Кавказ, Предкавказье (Северный Кавказ), Закавказье (восточное и западное), Малый Кавказ, Южно-Кавказское (Армянское) нагорье. [1]

В данной работе будет рассматриваться область Предкавказья, а именно Ставропольский край.

Предкавказье (Северный Кавказ) – обширная равнинная область, расположенная к северу от Большого Кавказа, орографически может быть разделена на следующие три главные части: западная Кубано-Приазовская низменность, восточная Прикаспийская низменность и расположенная между ними Ставропольская (или Предкавказская) возвышенность. В Предкавказье можно выделить три основные геоморфологические области. Это прежде всего плоская Кубано-Приазовская равнина, расположенная к северу от р. Кубань, сложенная из четвертичных глин и лёссовидных суглинков. Затем наклонная Прикубанская равнина к югу от р. Кубань, сложенная флювиогляциальными галечниками. Она рассечена широкими долинами рек, левых притоков Кубани, с хорошо выраженными террасами. Третья геоморфологическая область Предкавказья – Ставропольская возвышенность, которая сложена третичными глинами, песчаниками и известняками и расположена к северу от Большого Кавказа.

Ставропольская возвышенность расчленена речным разливом и имеет холмистый рельеф. (Рисунок 1)

Климат Кавказа в соответствии с его сложными физико-географическими условиями и расчлененностью рельефа отличается большим разнообразием. В формировании климата существенен тот факт, что Кавказ занимает пограничную полосу между странами, находящимися под влиянием влажных воздушных масс из Атлантики и сухих масс воздуха из юго-восточной Европы и северной Азии.

Собственно климат Предкавказья, в особенности его восточной части, отличается сухостью и континентальностью с большими годовыми амплитудами температуры воздуха (от 25 до 30 С). [1]



Рисунок 1. Физико-географическая карта Ставропольского края с расположенными на ней метеостанциями.

Далее будут представлены графики хода температуры и скорости ветра за исследуемый период 2019-2023 гг. Данные были взяты из ежемесячников,

предоставленных Главной геофизической обсерваторией имени А. И. Воейкова. В графиках анализируется средняя температура за месяц на метеостанции. Станции представлены в порядке удаления с севера на юг территории.

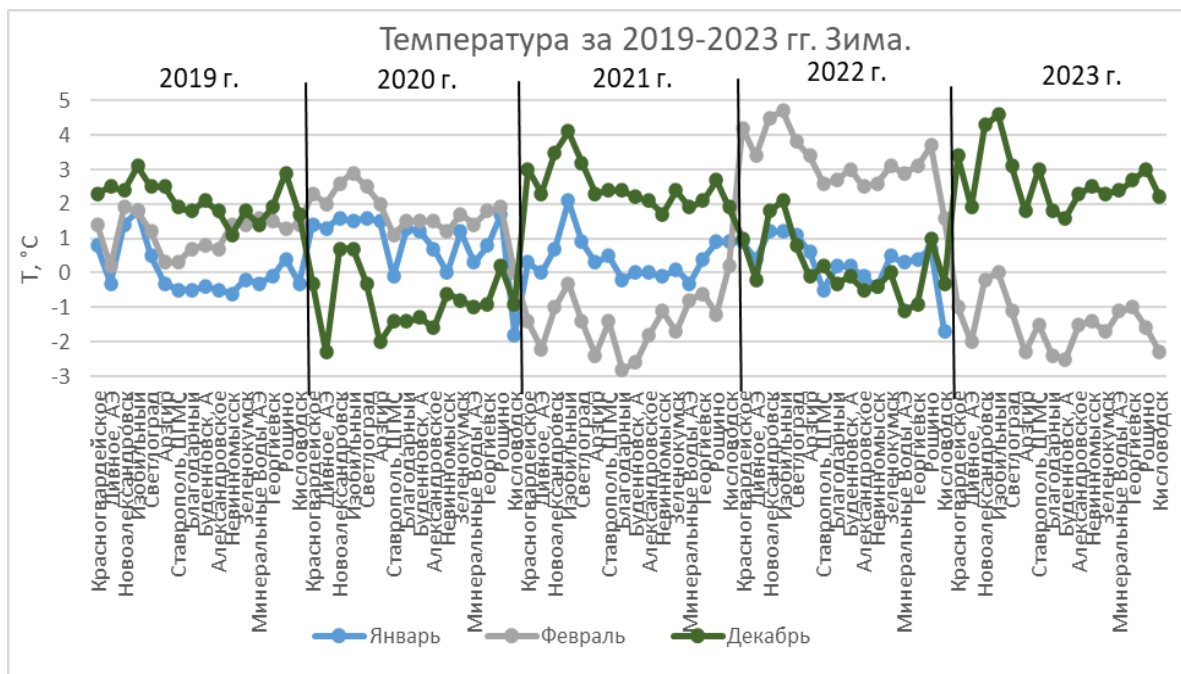


Рисунок 2. График температуры за зиму 2019-2023 гг.

В зимний период средняя температура в Ставропольском крае может колебаться от -3 до 5 °C. Из рисунка 2 мы видим, что более холодный январь был в 2019 году, так как на большем количестве метеостанций наблюдалась температура ниже 0 °C. Минимальная средняя температура за январь фиксировалась -2 °C на метеостанции Кисловодск. Более тёплый январь был в 2021 году, максимальная средняя температура 2 °C (метеостанция Изобильный). Средняя температура за январь колеблется от -2 до 2 °C. За 2023 год данных по январю не было предоставлено, поэтому их анализ невозможен.

Февраль более холодный был в 2021 году и был значительно холоднее, чем январь и декабрь того же года. Минимальная средняя температура -2,8 °C на метеостанции Благодарный. Самым теплым февраль был в 2022 году, его максимальная средняя температура достигла 4,7 °C (метеостанция Изобильный). Средняя температура за февраль колеблется от -3 до 5 °C.

Самый холодный декабрь был в 2020 году, его минимальная средняя температура была $-2,3^{\circ}\text{C}$ (метеостанция Дивное, АЭ). Самый теплый декабрь был в 2023 году, где максимальная средняя температура $4,6^{\circ}\text{C}$ наблюдалась на метеостанции Изобильный.

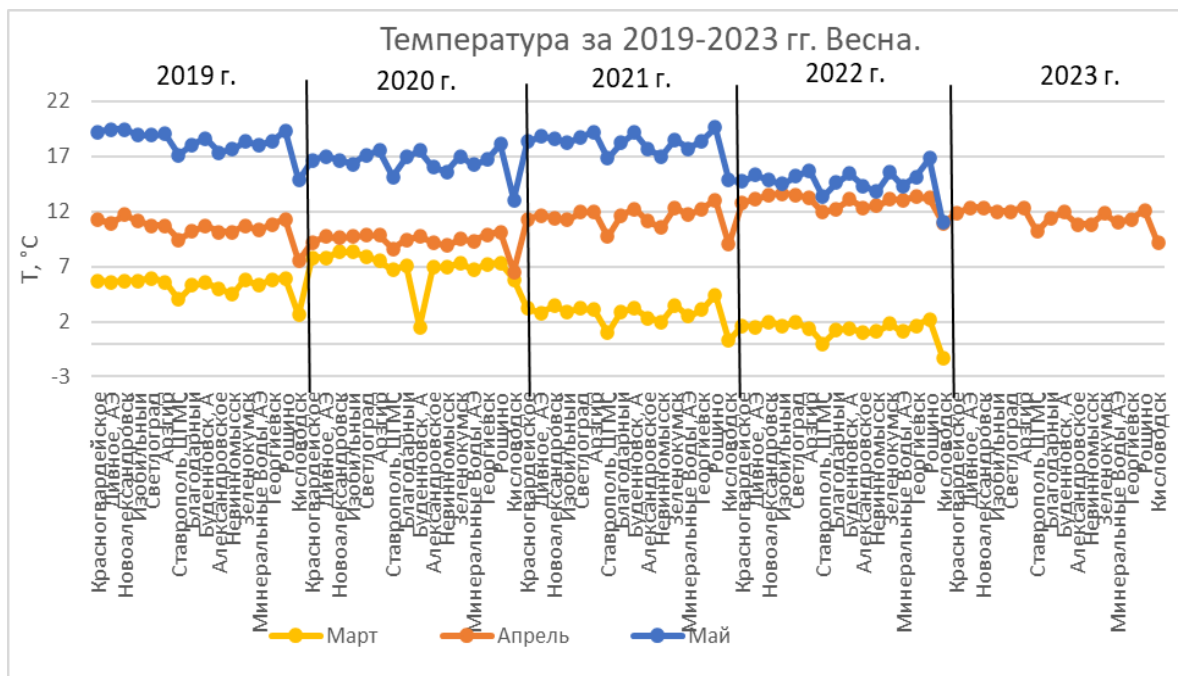


Рисунок 3. График температуры за весну 2019-2023 гг.

В весенний период средняя температура в Ставропольском крае может колебаться от -2 до 21°C . Из рисунка 3 мы видим, что более холодный март был в 2022 году, по сравнению с остальными годами. Минимальная средняя температура за март была $-1,3^{\circ}\text{C}$ (метеостанция Кисловодск). Более тёплый март был в 2020 году, максимальная средняя температура $9,7^{\circ}\text{C}$ на метеостанции Новоалександровск. Средняя температура за март колеблется от 2 до 10°C . За 2023 год данных по марту и по маю не было предоставлено, поэтому их анализ невозможен.

Апрель более холодный был в 2020 году, минимальная средняя температура $6,5^{\circ}\text{C}$ (метеостанция Рожино). Самым теплым апрель был в 2022 году, его максимальная средняя температура достигла $14,5^{\circ}\text{C}$ на метеостанции Изобильный. Средняя температура за апрель колеблется от 15 до 6°C .

Самый холодный май был в 2022 году, его минимальная средняя температура была 11°C (метеостанция Кисловодск). В общем самый теплый

май был в 2019 году, максимальная же средняя температура в 19,6 °С, была в 2021, метеостанция Рощино.

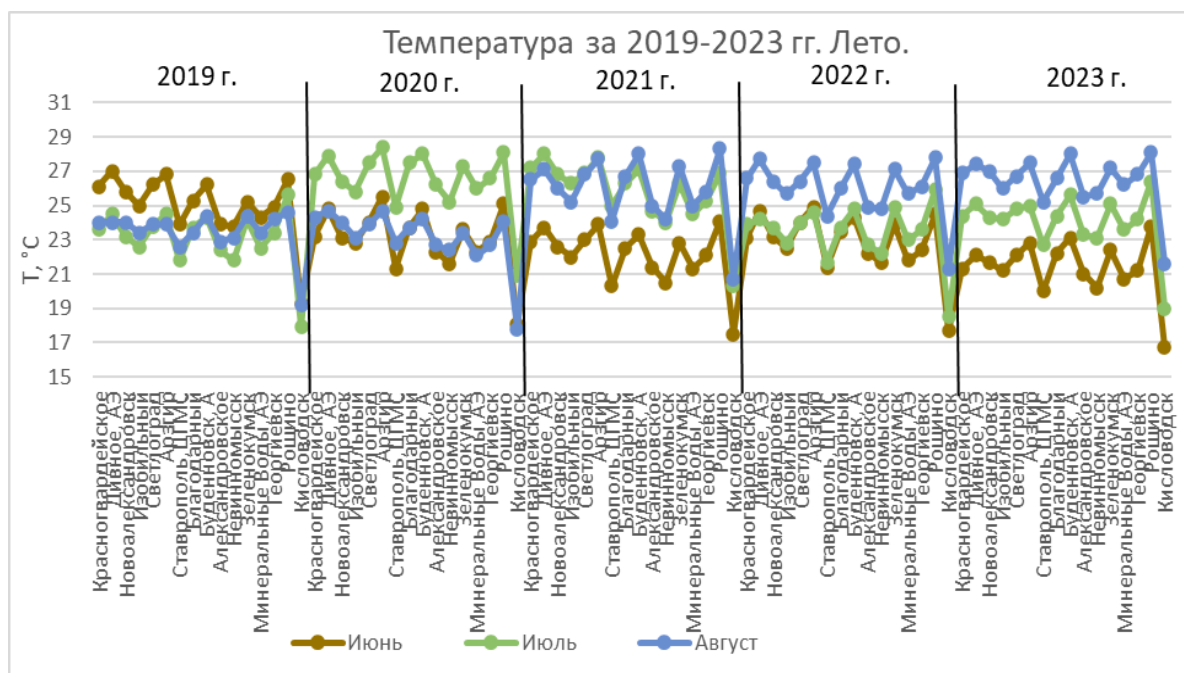


Рисунок 4. График температуры за лето 2019-2023 гг.

В летний период средняя температура в Ставропольском крае может колебаться от 16 до 29 °С. Из рисунка 4 мы видим, что более холодный июнь был в 2023 году, по сравнению с остальными годами. Минимальная средняя температура за июнь была 16,7 °С, на метеостанции Кисловодск. Более тёплый июнь был в 2019 году, максимальная средняя температура 27 °С (метеостанция Дивное, АЭ). Средняя температура за июнь колеблется от 16 до 27 °С.

Июль более холодный был в 2019 году, минимальная средняя температура 17,9 °С была зафиксирована на метеостанции Кисловодск. Самым теплым июль был в 2020 году, его максимальная средняя температура достигла 28,4 °С (метеостанция Арзгир). Средняя температура за июль колеблется от 17 до 29 °С.

Самый холодный август был в 2020 году, его минимальная средняя температура была 17,8 °С (метеостанция Кисловодск). В общем самый тёплый август был в 2023 году, максимальная же средняя температура в 28,3 °С, была в 2021 году на метеостанции Рощино.

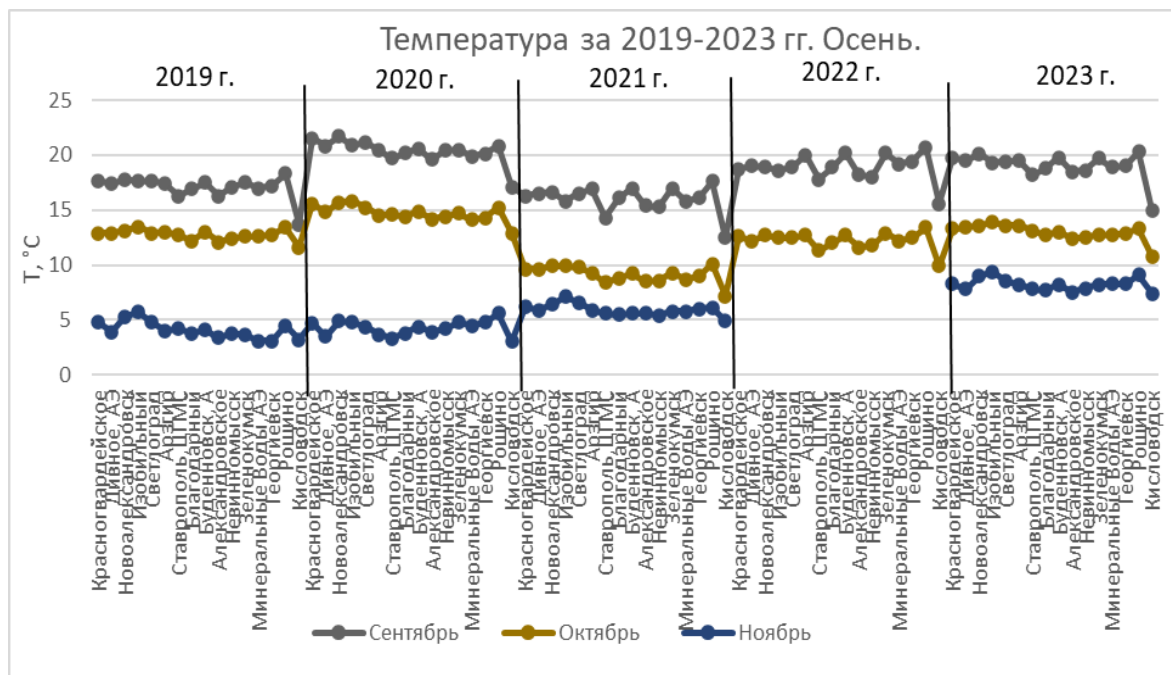


Рисунок 5. График температуры за осень 2019-2023 гг.

В осенний период средняя температура в Ставропольском крае может колебаться от 3 до 22 °C. Из рисунка 5 мы видим, что более холодный сентябрь был в 2021 году, по сравнению с остальными годами. Минимальная средняя температура за сентябрь была 12,5 °C, на метеостанции Кисловодск. Более тёплый сентябрь был в 2020 году, максимальная средняя температура 21,7 °C (метеостанция Новоалександровск). Средняя температура за сентябрь колеблется от 12 до 22 °C.

Октябрь более холодный был в 2021 году, минимальная средняя температура 7,2 °C была зафиксирована на метеостанции Кисловодск. Самым теплым октябрь был в 2020 году, его максимальная средняя температура достигла 15,8 °C (метеостанция Изобильный). Средняя температура за октябрь колеблется от 7 до 16 °C.

Самый холодный ноябрь был в 2019 году, но минимальная средняя температура была в 2020 3 °C (метеостанция Кисловодск). В общем самый теплый ноябрь был в 2023 году, максимальная средняя температура 9,4 °C на метеостанции Изобильный. Данные за ноябрь 2022 год не были предоставлены.

1.2. Районирование территории по толщине стенки гололёда

Для всего Кавказа типичным для образования и распространения гололеда является активизация центров действия, расположенных в арктической зоне, и их взаимодействие со средиземноморскими циклонами. Во фронтальных зонах адвекции атмосферные процессы получают исключительное напряжение и вызывают резкие сдвиги метеорологического режима.

В условиях Кавказа горные массивы и их существенно влияют на траектории атмосферных процессов, сдвигая их в ту или иную сторону. Они же создают барьеры для их свободного продвижения и трансформируют их.

Открытость территории Северного Кавказа и ориентация горных систем обостряют процессы обледенения гораздо в большей степени, чем в Закавказье. Исключение составляет Южное нагорье Закавказья, где во внутренних районах на наветренных склонах замечается усиление процесса обледенения, что связано с высотным положением этого района и влиянием полярного фронта, достигающего юга Закавказья.

Кроме того, Северный Кавказ пересекается рядом параллельных хребтов (Боковой, Скалистый, Сунжинский, Терский и др.), которые омолаживают процессы, связанные с гололедообразованием. Среди них особое значение приобретает Ставропольская возвышенность, расположенная в Центральной части Северного Кавказа и занимающая обширную площадь. Несмотря на сравнительно незначительную высоту (800-900 м), эта возвышенность является климаторазделяющей и в гололедообразовании играет исключительную роль. Если гололедонесущие процессы ограничиваются небольшой высотой, обледенение охватывает попеременно то западную, то восточную часть Северного Кавказа. Одновременно следует указать, что Ставропольская возвышенность является преградой для распространения восточных процессов на запад и западных – на восток. Вследствие действия Большого Кавказа как барьера и вследствие застоя холодных воздушных масс на прилегающих к северному склону предгорьях и равнинах

продолжительность опасных для обледенения периодов в этих районах значительно превышает таковую в Закавказье.

Данные инструментальных наблюдений и случаи аварии воздушных линий связи и ЛЭП свидетельствуют о том, что непрерывная продолжительность гололедонесущих процессов на Северном Кавказе может охватить период 7-12 дней. В Закавказье же этот период ограничивается в среднем 3-5 днями. [1]

Интенсивному образованию гололеда и сложного отложения в регионе способствует усиленная циклоническая деятельность в холодное время года и похолодания, сменяющиеся частыми оттепелями. Распределение гололедно-изморозевых отложений носит сложный характер и во многом зависит от рельефа и расположения станции к наветренным гололеднонесущим ветрам. В Северо-Кавказском регионе (Южный федеральный округ) гололедо-изморозевые отложения – довольно характерное явление с октября по апрель с наибольшим числом случаев в декабре-январе.

Увеличение числа случаев с гололедом и сложными отложениями проявляется в основном на Ставропольском плато, в предгорных районах Северного Кавказа и Черноморского побережья. [2]

Из перечня опасных природных гидрометеорологических явлений (ОЯ) на территории Ставропольского края и Карачаево-Черкесской республики можно узнать, что для данных территорий сильный гололед считается опасным явлением, если диаметр отложения льда на проводах гололёдного станка не менее 20 мм, а сильное гололёдно-изморозевое отложение, налипание мокрого снега является ОЯ если диаметр гололёдно-изморозевого, сложного отложения или отложения мокрого (замерзающего) снега на проводах гололёдного станка не менее 35 мм. [3]

Территория горного Кавказа разделена на районы по толщине стенки гололёда, исследуемая область относится к III -му району. (Рисунок 6) [4]

Таблица 1. Районы по толщине стенки гололёда.

Гололедные районы (принимаются по карте рисунок 2)	I	II	III	IV	V
Толщина стенки гололеда b, мм	Не менее 3	5	10	15	Не менее 20

Таблица 2. Перечень территорий

Территориальный район Российской Федерации	Гололедный район
Ростовская область	II,III
Республика Калмыкия	III
Краснодарский край	III,IV
Республика Адыгея	IV
Ставропольский края	III
Карачаево-Черкесская республика	III,IV
Кабардино-Балкарская республика	III,IV
Республика Северная Осетия и Алания	IV,V
Республика Ингушетия	III
Чеченская республика	II,III, IV
Республика Дагестан	I, II, III, IV



Рисунок 6. Карта районирования территории горного Кавказа по толщине
стенки гололёда.

2. УСТРОЙСТВО ЛЭП

2.1. Общее устройство ЛЭП

Внешне ЛЭП, независимо от категории, выглядит как опора, на которой подвешен силовой кабель. Крепление осуществляется при помощи специальных изоляторов, препятствующих утечке даже при сильном дожде. Они позволяют подвешивать провода на различных инженерных сооружениях без рисков поражения электрическим током обслуживающего персонала, других людей, животных. Все элементы изготавливаются из долговечных материалов (бетон, нержавеющая сталь и пр.).

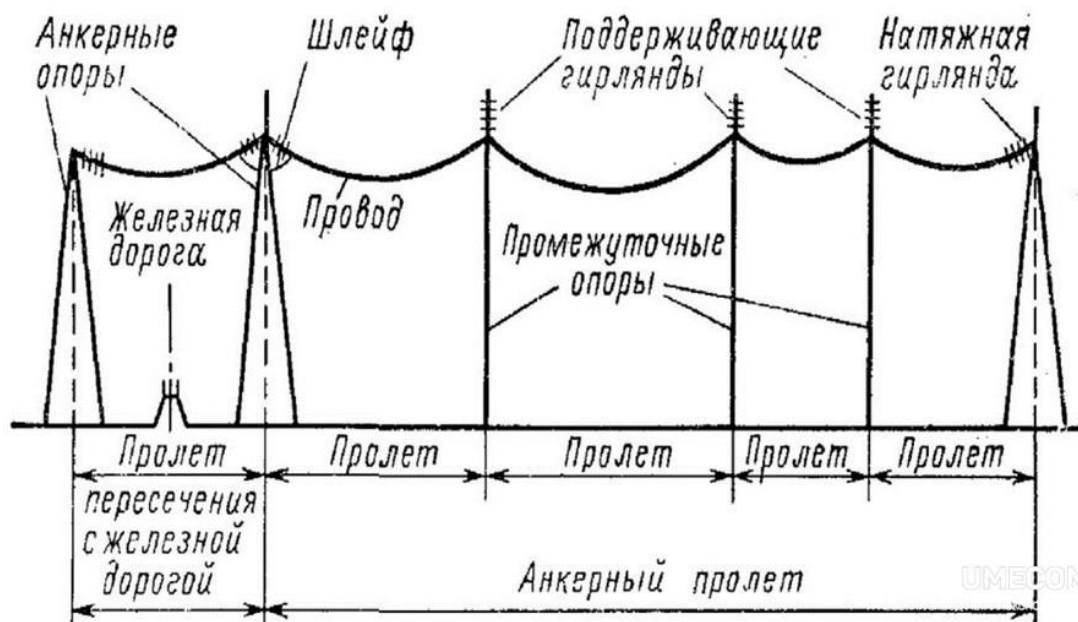


Рисунок 7. Устройство ЛЭП.

Опоры — являются основой всей конструкции, они отвечают за подвешивание проводов на определенном уровне и их удерживании вне зависимости от климатических условий.

Провода — передают электрический ток на заданное расстояние в соответствии с проектом.

Линейная арматура — выполняет функции крепления отдельных элементов между собой.

Изоляторы – применяются для «отделения» токоведущих частей воздушной линии от всех остальных элементов (опор, арматуры).

Также стоит отметить такой элемент, как защитные тросы. Они монтируются в верхней части опор и выполняют функции защиты от атмосферных (грозовых) перенапряжений, молний во время гроз. Конструктивно опоры разделяются по количеству цепей, располагаемых на них – 1 или две линии (3 провода одной трехфазной сети). На анкерных опорах, являющихся конечными точками, кабель жестко закреплен и натянут до заданного проектом натяжения.

Промежуточные же опоры лишь поддерживают его, чтобы не допустить провисания ниже предела, когда появляется риск соприкосновения с живыми объектами. Полностью исключить провисания не получится, потому что используется мощный кабель большого сечения с толстой изоляцией. То же относится к защитным тросам, они достаточно прочные, но из-за этого имеют приличную массу, усложняющую натягивание до состояния «струны».

Устройство проводов воздушных линий электропередач

Согласно правилам устройства (воздушных линий электропередач) допустимо использование трех типов кабелей – неизолированные или голые, изолированные и защищенные. Первый вариант проводов является самонесущим, изготовленным из нескольких жил, скрученным в жгут. Материал для них выбирается между алюминием, алюминиевым сплавом или сталеалюминовой конструкцией (прочность и другие параметры должны соответствовать ГОСТ 839-80).

Изолированные провода, как и «голые», подходят для высоковольтных линий с напряжением до 1 кВ. В составе такого кабеля обычно присутствует стальная жила, увеличивающая возможную длину пролета и прочность на разрыв-растяжение при механических нагрузках от обледенения или ветра. Такие марки называются самонесущими или СИП. Центральная жила бывает с изоляцией или без изоляции, токопередающие жилы однозначно должны

быть изолированными. Однако отдельные жилы в проводе могут вибрировать, и передавая вибрацию проводам будет казаться, что трещат сами провода.

Защищенные провода предназначены для ВЛ, рассчитанные на передачу напряжения свыше 1 кВ, но до 20 кВ. Они чаще выполняются сталеалюминиевыми (маркируются аббревиатурой АС), чтобы, помимо электрических характеристик, придать конструкции повышенную прочность на разрыв-растяжение. При строительстве ЛЭП для передачи высокого напряжения свыше 20 кВ применяется алюминий. Материал обладает высокой электропроводностью и достаточной прочностью. Также в ходу алюминиевые сплавы – термообработанные (АЖ) и нетермообработанные (АН). Такие провода прочнее «чистого» алюминия и одновременно сохраняют его электрические свойства. Если речь идет об относительно низком напряжении, допустимо использование кабеля из стали, которые имеют высокое сопротивление, низкую устойчивость к атмосферным осадкам, зато механически прочные. Маркируется стальной провод как ПС.

Редкий вариант – медь (с обозначением М). Это наилучший вариант в плане электропроводности, стойкостью к окружающей среде, высокой механической прочностью. Но медные провода слишком тяжелые и дорогие, поэтому практически не применяются. Слишком большой бюджет потребуется для строительства опор, изготовления арматуры, изоляторов. [5]

Линии передачи электричества, расположенные на открытом воздухе, называются воздушными и обозначают буквами «ВЛ». Проводники ВЛ проходят по воздуху. Эти элементы закрепляются при помощи специальной арматуры к опорным столбам, мостам, путепроводам. Не обязательно это высоковольтные установки.

Процесс строительства подобных объектов организовывается в соответствии с нормами правил устройства электроустановок. Это позволяет создавать надежные, безопасные в эксплуатации конструкции.

В процессе обустройства воздушной линии электропередач руководствуются строительными нормами и правилами. Заниматься подобной

деятельностью могут только специальные компании, которые имеют все необходимые допуски. Персонал таких организаций должен обладать не только соответствующей квалификацией, но и достаточным опытом работы.

Существует определенная классификация, которая применяется к представленным объектам. По роду тока, протекающего в проводах, бывают линии переменного и постоянного тока. Воздушные линии электропередач отличаются показателем номинального напряжения.

Существуют следующие категории систем:

1. линии переменного тока: 1150, 750, 500, 400, 330, 220, 150, 110, 35, 10, 6 кВ. Самым малым номиналом обладает линия 0,4 кВ.

2. линии постоянного тока проводят электричество номиналом исключительно 400 кВ.

В зависимости от категории напряжения различают 5 классов коммуникаций. Каждая из коммуникаций отличается конструктивным исполнением, расчетными условиями эксплуатации.

Выделяют следующие разновидности:

Низший класс. По линии передается напряжение до 1 кВ.

Средний класс. Проводники передают электричество от 1 до 35 кВ.

Высокий класс. Кабель рассчитан на напряжение от 110 до 220 кВ.

Сверхвысокий класс. Линия транспортирует ток от 330 до 500 кВ.

Ультравысокий класс. Кабель способен передать электричество напряжением выше 750 кВ.

Это высоковольтные линии, которые применяются в различных сферах деятельности человечества.

Тросы и провода, которые применяются на воздушных коммуникационных электрических системах, подвергаются постоянным воздействиям климатических условий, активных химических примесей, которые находятся в воздухе.

Ранее при создании подобных систем коммуникаций использовался кабель с медными жилами. Сегодня для линий электропередач применяется алюминий, сталь, специальные сплавы алюминия со сталью или альдреем.

У одних ВЛ кабель состоит из многих жил, изготовленных из одного материала. В разрезе такое изделие может состоять из 7, 19, 37 отдельных проволок, скрученных воедино.

В других системах используются однопроволочные проводники, сечение кабеля у которых будет сплошное из одной жилы.

Также применяются многопроволочные изделия, в состав подобного кабеля входят проволоки из разных металлов. Например, это может быть сталь и алюминий или сталь и бронза.

Тип коммуникации зависит от особенностей эксплуатации.

Воздушные линии электропередач должны быть изолированы между собой, от заземленных элементов и земли при помощи специальных материалов. Обычно в качестве изоляторов выступают фарфоровые или стеклянные элементы конструкции, а также атмосферный воздух. Способ изоляции зависит от номинальной мощности линии.

Для всех коммуникаций, которые передают электричество до 20 кВ (в некоторых случаях до 35 кВ) используют фарфоровые штыревые изоляторы.

Для некоторых систем напряжением 35 кВ применяются элементы, которые склеиваются из двух частей при помощи цементного раствора.

Линии, напряжение которых выше 35 кВ, предполагают установку подвесных фарфоровых и стеклянных изоляторов тарельчатого типа. Между цементным раствором и поверхностью фарфорового прибора промазывается битум. Такую же конструкцию имеют и стеклянные изоляторы.

Помимо перечисленных, существуют керамические и полимерные изоляторы. [6]

2.2. Особенности воздушных и кабельных линий электропередач

Система передачи электричества от подстанции к потребителю предполагает использование различной силовой аппаратуры и коммуникаций. Провода могут пролегать в специальных каналах или крепиться к опорам при помощи изоляторов и арматуры.

Выбор того или иного способа коммуникаций зависит от условий эксплуатации. Строительство воздушной линии электропередачи обходится на 25-30% дешевле, чем обустройство канала для кабеля под землей. Однако обе разновидности монтажа линий высоковольтных проводов применяются повсеместно. При этом обязательно учитываются существующие нормы и правила при строительстве всех элементов системы.

Главной характеристикой линии электропередач является ее мощность. Именно от мощности зависят используемые устройства, тип кабеля и другая аппаратура.

Существует два основных требования при обустройстве воздушных и кабельных линий электропередач:

1. все элементы системы способствуют надежной передаче электроэнергии высокой мощности на требуемое расстояние;
2. линии должны быть безопасными для оборудования, людей и животных.

Существующие условия окружающей среды не должны оказывать воздействие на выполнение системой функции по передаче электрической энергии. Ураганный ветер, снег, наледь, вибрация, колебания температуры не должны нарушать работу линии электропередач. Поэтому при строительстве объекта учитываются возможные механические воздействия, климатические условия

Воздушная линия характеризуется таким показателем, как габарит. Габарит позволяет определить вертикальное расстояние от самой нижней точки провода до земли, водоема, связанных коммуникаций, железной дороги, автомобильного шоссе и прочих поверхностей. Этот показатель четко регламентируется правилами устройства электроустановок.

Габариты воздушной линии устанавливаются на определенном допустимом уровне. На них влияет мощность коммуникаций, посещаемость местности людьми. Соответствие представленного показателя существующим нормам позволяет эксплуатировать и обслуживать систему максимально безопасно.

При наибольшей стреле провеса вертикальное расстояние до земли должно составлять минимум 6 м. Если линии электропередач проходят в малонаселенной местности, то этот показатель может быть уменьшен.

В труднодоступных отдаленных районах этот показатель может составлять всего лишь 3,5м. Если линия проходит в местности, где люди не бывают вообще, габариты может составить 1м.

Недопустимо, чтобы воздушная линия проходила над зданиями. Линии протягивают над лесом, посадкой, прочими зелеными насаждениями. Расстояние до крон деревьев должно составлять не менее 1м.

Прежде чем подключить новую установку к электричеству, строительной организацией проводятся соответствующие испытания, в ходе которых проверяется: правильность установки опор; соответствие монтажа провода и тросов существующим нормам и требованиям; заземление опорных столбов.

Процесс замеров фиксируется в соответствующих протоколах и актах. К приемке представляются новые установки, которые ограждаются подстанциями с обеих сторон. .

Существующие воздушные линии делятся на коммуникации до 1000 В и выше 1000 В. Во втором случае строительные нормы и требования будут более строгими. Опоры могут иметь угловую с оттяжкой или анкерную конструкцию. Провод может быть только медным многопроволочным. Сечение составляет 10 мм².

Прием и сдача объекта, предназначенного для передачи электричества напряжением выше 1000В, производится по установленной стандартами технологии. При сдаче в эксплуатацию проходит проверка изоляторов, соединения проводов, сопротивления заземления опор, тросов и оттяжек.

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) отличаются широкой пропускной способностью, высокой скоростью передачи сигналов, низким уровнем потерь, отсутствием чувствительности к электромагнитным помехам. Также подобными проводами отличается малая масса и незначительные размеры.

Если сравнивать ВОЛС с медным кабелем, то новые системы отличаются высокой устойчивостью к перехвату сигнала, пожаробезопасностью и приемлемой стоимостью, ВОЛС постепенно вытесняют прочие виды проводников в магистральных линиях цифровых сетей.

Проводить возведение, обслуживание сетей электропередач могут только те компании, которые получили лицензию на право осуществления подобной деятельности.

Обслуживанием воздушных линий электропередач занимаются различные крупные и мелкие компании. Среди солидных предприятий, которые занимаются возведением и обслуживанием линий электропередач, можно выделить ПАО «ФСК ЕЭС», которая состоит из нескольких региональных и дочерних компаний.

Обслуживание ВЛ проводят АО «ЭлектроСетьСервис ЕНЭС», инженерная компания «РосАльфа» и другие. Во многих регионах есть свои предприятия, которые занимаются данным видом деятельности. [6]

2.3. Гололед и изморозь на проводах линий электропередачи и борьба с ними

Образование гололеда и изморози на проводах линий электропередачи вызывает повышение натяжения в них и увеличение вертикальной нагрузки на траверсы и стойки опор, что может привести к повреждениям отдельных элементов линии. Обычно в гололедных районах нагрузка от гололеда на провод достигает 4 — 5 кг/м. В сильно гололедных районах характерны максимальные нагрузки 8 — 10 кг/м.

Естественно то, что такие нагрузки вызывают значительные повреждения на линиях. Опыт эксплуатации, однако, показывает, что повреждения линии

иногда могут иметь место при нагрузках, на которые линия рассчитана, а в некоторых случаях даже и при меньших нагрузках.

Чаще всего такие повреждения наблюдаются на линиях с вертикальным расположением проводов. Так, в самом начале гололедообразования провод с гололедом имеет форму сечения, напоминающую крыло самолета. При сильном ветре появляется подъемная сила, вызывающая пляску проводов, происходят опасные сближения, схлестывания, оплавления и даже обрывы проводов.

Линия может отключиться при таянии гололеда, когда происходит «подскок» освободившегося от нагрузки провода. В результате возможно схлестывание между проводами, между проводом и тросом или же перекрытие по воздуху, если расстояние между проводами взято недостаточным.

В слабо гололедных районах величина «подскока» мала и схлестывание не имеет места при обычных расстояниях между проводами. В сильно гололедных районах «подскок» получается большим и потребовались бы значительные расстояния между проводами.

Так, в IV районе гололедности провод АС-150 в пролете длиной 150 м может подскочить до 7,5 м. Поэтому в таких районах экономичнее строить линии с горизонтальным расположением проводов. При вертикальном расположении применяют значительный горизонтальный разнос.

В эксплуатации нередко гололед по краям анкерного участка опадает, а в одном из средних пролетов сохраняется. Тогда все гирлянды подвесных изоляторов отклоняются в сторону нагруженного пролета и в нем произойдет дополнительный провес провода. Провисший провод может коснуться ниже расположенных проводов и даже земли, что приведет к отключению линии.

Нарушение габарита над землей или касание земли целым, проводом может произойти и во всем анкерном участке из-за большого провисания провода при мощных отложениях гололеда.

Применение твердых гидрофобных материалов показало, что они замедляют развитие гололедообразования в начальный период, а затем их действие прекращается.

Выше отмечалось, что мощные образования гололеда наблюдаются в районах, расположенных на определенных отметках местности над уровнем моря. Выше и ниже этих отметок мощных образований гололеда не бывает. Это обстоятельство можно использовать при выборе трассы линии с тем, чтобы миновать гололедный район.

Средством борьбы с гололедом является также прокладка трассы линии в лесу, в защищенных от ветра местах.

Самым действенным способом борьбы с гололедообразованием является плавка гололеда электрическим током. При прохождении электрического тока гололедообразование подплавляется вокруг провода и под собственным весом оседает вниз.

В дальнейшем только верхняя часть провода соприкасается гололедом, в результате чего в нем проплавляется канавка и провод освобождается от гололеда.

Выделяемое в проводе тепло расходуется на его нагрев, на нагрев гололеда до 0 °С и его плавление. Часть тепла теряется конвекцией и совсем мало — лучеиспусканием. Потери конвекцией растут с увеличением скорости ветра и разности температур воздуха и поверхности гололеда.

Таким образом, необходимая величина тока плавки зависит от вида гололедообразования (гололед или изморозь), материала и сечения провода, температуры воздуха, скорости ветра и времени, в течение которого необходимо закончить плавку.

Выше отмечалось влияние рельефа и условий прохождения трассы на размеры отложения. Эти условия сказываются и при плавке гололеда. На участках возвышенных и открытых ветру потери тепла конвекции больше и вес гололеда бывает большим, следовательно, в этих местах плавка

происходит медленнее. Поэтому об окончании плавки надо всегда судить по наиболее тяжелым участкам, которые можно заранее выявить.

Нередки случаи, когда, в результате ошибки некоторые участки остаются неоплавленными и дальнейшее нарастание гололеда вызывает повреждения. Для получения необходимых токов плавки используются следующие основные способы:

- короткое замыкание;
 - встречное включение фаз;
 - перераспределение нагрузок и изменение схемы коммутации сети;
 - включение дополнительной э. д. с. в цепь с прогреваемым проводом;
- схема с использованием реактора.

При коротком замыкании линия подключается к источнику тока и закорачивается на другом конце. Источником тока может служить специально выделенный генератор, трансформатор или шины системы. Способ короткого замыкания применяется на линиях с односторонним питанием. На линиях с двусторонним питанием он применяется в случае, когда длина обогреваемого участка линии дает возможность получить необходимый ток плавки.

Если во время гололедообразования пропускать ток, нагревающий провод до положительной температуры, то упавшие на него капли будут стекать, не замерзнув, и нарастания гололеда происходить не будет. Как и при плавке, ток профилактического нагрева зависит от температуры воздуха, скорости ветра, материала и сечения провода.

Для профилактического нагрева необходим меньший ток, чем для плавки, но приходится нагревать провод в течение всего периода гололедообразования. Последнее обстоятельство является существенным недостатком этого метода. Для получения необходимых токов можно применять схемы, используемые при плавке, не требующие отключения линии.

Механические способы удаления гололедообразований основаны на механическом разрушении гололеда при помощи удара, давления или резания.

Использование шестов для обивки гололеда требует отключения линии, если не применяются специальные меры. Этот способ трудоемок и мало производителен.

Некоторое преимущество имеет способ использования канатов из изолирующих материалов. При этом, способе канат перебрасывается через провод линии и его передергивания по проводу позволяют разрушить образования изморози. Линия в это время остается под напряжением, в то время как использование обычных веревок требует ее отключения.

Из прочих способов борьбы с гололедообразованием следует упомянуть о смазке проводов химическими соединениями, которые предотвращают смачивание водой поверхности провода (такие соединения называются гидрофобными). Капля воды, упавшая на такой провод, не растекается, а сохраняет форму шара и легко скатывается с поверхности. [7]

Эксплуатационный персонал ВЛ должен контролировать процесс гололедообразования и обеспечивать своевременное включение схем плавки гололеда. ВЛ, на которых производится плавка гололеда, должны быть оснащены сигнализаторами гололеда, работоспособность которых должна проверяться ежегодно перед наступлением зимнего периода.

Следует отметить, что плавка гололеда должна проводиться в районах интенсивного гололедообразования ($b > 20$ мм) с частой пляской проводов. В других случаях применение плавки гололеда должно обосновываться технико-экономическими расчетами.[8]

2.3.1. Система контроля гололедообразования

Автоматизированная информационная система контроля гололедной нагрузки (АИСКГН) предназначена для раннего обнаружения гололедообразования на воздушных линиях электропередач посредством контроля изменения нагрузки на проводах ВЛ и контроля метеопараметров (температуры, влажности, направления и скорости ветра) в месте установки пункта контроля. Дополнительно АИСКГН позволяет контролировать

температуру проводов, а также обеспечивать получение фото и видеоизображения с установленных на опоре видеокамер.

Состав пункта контроля системы АИСКГН:

- микропроцессорный линейный преобразователь МЛП-004
- обеспечивает опрос параметров, контролируемых подключенными к нему датчиками, по запросу или в автономном режиме с установленной периодичностью и передачу их в пункт приема по каналу передачи информации;
- датчик-преобразователь
- обеспечивает контроль силы воздействия на датчик нагрузки (растяжения), преобразует полученное значение в физическую величину веса и выдает ответ на МЛП-004;
- датчик-преобразователь температуры и влажности
- обеспечивает контроль параметров температуры и влажности, преобразует полученные значения в физические величины температуры и влажности и выдает на МЛП-004;
- датчик-преобразователь направления и скорости ветра;
- датчик контроля температуры провода.

Структура технических средств системы раннего обнаружения гололедноизморозевых образований включает в себя технические средства информационноконтролирующей системы и системы передачи данных диспетчерскому пункту

Сигнализаторы гололеда могут передавать информацию об интенсивности нарастания гололеда, температуре воздуха, скорости и направления ветра, влажности воздуха, а также могут быть использованы для контроля окончания плавки гололеда. Сигнализаторы гололеда могут выдавать информацию трех типов.

Первый тип (I) – о возможности появления гололеда (по характерному сочетанию температуры воздуха, скорости ветра и влажности).

Второй тип(II) – о наличии гололеда без указания его размеров и веса.

И последний третий тип (III) – о весе гололеда на проводах и интенсивности его нарастания. Информация III типа может поступать в дискретном виде с выдачей одного или нескольких сигналов или с непрерывной выдачей данных. Контролируемые пункты размещаются в местах наибольших гололедных нагрузок на трассе ВЛ, которые наблюдаются, как правило, на возвышенных участках, а также на отдаленных участках ВЛ, где затруднен визуальный осмотр линии. [9]

Таблица 3 Виды систем контроля гололедообразования

Наименование сигнализатора , системы сигнализации	Разра б- отчик	Тип инфо рмац ии	Облас ть приме нения	Датчик гололе да	Систем а переда чи сигнал а	Исто чник пита ния КП	Кол-во датчиков в гололед а в комплек те СГ
Система непрерывного телеконтроля гололедной и ветровой нагрузки провода ВЛ 110-330 кВ (СТГН)	ЭСП, ВНИ ИЭ	I, II, III	ВЛ 110-330 кВ	БДГ-2, БДГ-6	ВЧ- канал связи	Устр ойст во отбо ра мощ ности	4
Сигнализатор «ИНГА»	ВНИ ИЭ	II, III	ВЛ 110 кВ и выше	Динам ометри ческог о типа БДГ-2, БДГ-6	ВЧ- канал связи	Не треб уется	7
Система телесигнализа ции о гололедообраз овании на промышленно й частоте	ЮО ЭСП	III	ВЛ 35-330 кВ с тросами		Грозоз ащитн ый трос (для переда чи сигнал а частото	Не треб уется	

					й 50 Гц)		
Сигнализатор СПГ-1, СПГ-2	МИИ СП	I, II	ВЛ 6- 35 кВ	Гигрис тор	Устрой ство телесиг нализа ции УТС-2	Устр ойст во отбо ра мощ ност и	1
Сигнализатор УТС-10	МИИ СП	II	ВЛ 6- 10 кВ	ДГР-1	Земля (переда ча токов нулево й послед ователь ности)	Устр ойст во отбо ра мощ ност и	16

3. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ И СИНОПТИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГОЛОЛЁДА

3.1. Условия образования гололеда

Гололед – слой матового или прозрачного льда, нарастающего на поверхности земли и различных предметах вследствие замерзания капель переохлажденного дождя или мороси, реже тумана. Обычно гололед бывает при слабых морозах (от 0°C до - 5°C). Плотность гололеда различна, но обычно колеблется в пределах 0,5-0,9 г/см³. Прозрачность гололеда зависит от величины капель, из которых он образуется, и от температуры воздуха. Чем меньше капли и чем ниже температура воздуха, тем меньше прозрачность. При очень мелких каплях и низких температурах гололед имеет малую плотность, приобретает матовый оттенок и по своему виду напоминает зернистую изморозь. В некоторых случаях на образовавшемся слое гололеда может происходить сублимация водяного пара и отложение зернистой изморози. В результате получается сложное отложение. [10]

Гололёд образуется при определенных метеорологических условиях, а следовательно, и при определенных синоптических условиях. Он может быть как внутримассовым, так и фронтальным.

Внутримассовые гололёды возникают при синоптических положениях, обеспечивающих образование низкой внутримассовой слоистой облачности или плотного адвективного тумана. Обычно это – западные и северные периферии малоподвижных антициклонов, восточные и южные периферии стационарных циклонов, а также теплые секторы подвижных циклонов.

Фронтальные гололёды чаще всего связаны с теплыми фронтами и теплыми фронтами окклюзии и возникают в связи с выпадением переохлаждённого дождя. Наиболее интенсивные фронтальные гололёды образуются при больших контрастах температуры между холодным и тёплым воздухом (более 10 C/500 км) и при скорости движения фронта не более 20-

25км/ч. Иногда гололёд образуется в зоне медленного перемещающегося холодного фронта (первого рода), а так же на квазистационарных фронтах.

Следует иметь в виду, что наибольшая повторяемость гололёда характерна для районов с резким изменениями погодных условий, где часто наблюдается переход от морозной погоды к оттепели и наоборот. На повышенных участках рельефа, особенно на его наветренных склонах, повторяемость гололёда выше, чем на равнине. [2]

Гололёд обычно возникает при прохождении теплых фронтов, фронтов окклюзии (по типу теплого фронта) и в устойчивой воздушной массе (теплый сектор циклона, тыловая часть антициклона).

3.2. Условия образования гололёда на ЛЭП

На метеостанциях изучают отложения льда на проводах диаметром 5 мм, которые находятся на высоте 2 метра над уровнем земли. Гололед является причиной травматизма и транспортных аварий, повреждений деревьев, озимых культур, обрыва проводов ЛЭП и телеграфной связи. [10]

Вес гололедообразования определяется количеством влаги, оседающей на проводе. Количество влаги зависит от размера капель воды и их числа в единице объема, диаметра провода, скорости ветра и его направления по отношению к проводу.

Влияние диаметра провода, скорости ветра и размера капель проявляется в результате обтекания провода потоком воздуха.

Так, при отсутствии ветра капли мороси или дождя падают вертикально вниз под действием силы тяжести и с проводом сталкиваются только те из них, которые находятся в полосе, равной диаметру провода.

В этом случае вес образовавшегося гололеда пропорционален диаметру провода. При ветре капли двигаются почти горизонтально, вместе с потоком воздуха. Поток воздуха, встречая провод и обтекая его, отклоняется, от прямолинейного пути и захватывает из полосы часть капель, пронося их мимо провода.

Таким образом, при наличии ветра ширина полосы, из которой все капли попадают на провод, будет меньше диаметра провода. Несмотря на то, что с увеличением, скорости потока полоса уменьшается, общее количество капель, оседающих на проводе в единицу времени (вес гололеда), увеличивается за счет, повышенной скорости ветра.

Известно, что с увеличением высоты над поверхностью земли скорость ветра увеличивается. Этим объясняется увеличение веса отложения гололеда на проводе с увеличением, высоты его расположения над поверхностью, земли.

Характерно, что рост веса гололеда с высотой происходит в большей степени, чем увеличение скорости ветра. Так, измерения на проводах диаметром 6 мм показали, что на высоте 23 м вес гололедообразования в 5 раз больше, чем на высоте 2 м, тогда как скорость ветра при этом увеличивается всего, в 1,5 — 2 раза.

Вес гололеда растет с увеличением диаметра провода. Однако такая зависимость сохраняется только до определенных значений диаметра.

При тумане и мороси (мелкие капли) толстые провода в большей степени, чем тонкие, вызывают отклонение потока от прямолинейного пути, захват капелек потоком у них проявляется интенсивнее, поэтому у толстых проводов уменьшение ширины полосы происходит в большей степени. В результате количество капель и вес гололеда, оседающего на единицу поверхности, в среднем будет меньше у толстых проводов.

Практически толщина односторонней корки уменьшается с увеличением диаметра провода. Крупные капли дождя обладают силой инерции большей, чем отклоняющая сила потока, поэтому уменьшение полосы при дожде мало и зависимость между весом гололеда и диаметром провода прямолинейная.

Капли дождя, мороси или тумана могут оседать на проводе только с наветренной стороны, вследствие чего гололедная корка всегда растет навстречу ветру. В результате появляется эксцентричная сила, создающая

момент, под действием которого провод с гололедом закручивается и поверхность, подверженная гололедообразованию, увеличивается.

Со временем провод может повернуться на угол более 360° и вся его поверхность будет покрыта осадком цилиндрической формы. Угол закручивания растет с удалением от точек крепления провода. В середине пролета он будет наибольшим, а возле зажимов наименьшим (практически отсутствует).

Толстые провода обладают большей жесткостью, поэтому их способность к закручиванию меньше. Уже отмечалось, что у тонких проводов гололедная корка растет быстрее, чем у толстых. Поэтому может получиться, что при достаточной длине пролета тонкий провод повернется на 90° раньше, чем толстый, и поверхность для образования гололеда у него станет почти равной поверхности толстого провода.

За счет ускоренного закручивания вес отложения на тонком проводе может даже превысить вес на проводе большего диаметра, что иногда наблюдается на линиях.

На размеры гололедообразования существенно влияет направление ветра по отношению к оси провода. При поперечном ветре размеры гололедообразования будут наибольшими.

При ветре вдоль трассы размеры гололедообразования минимальны и составляют примерно 25% по сравнению с гололедом при поперечном ветре. При других направлениях ветра размеры гололеда имеют промежуточные значения.

Вес гололеда зависит от количества влаги в потоке воздуха, которое значительно снижается, если поток проходит через лесную полосу. В этом случае капли оседают на деревьях и за полосой проходит поток с меньшим содержанием влаги.

Помимо этого, лес уменьшает скорость ветра. Таким образом, наличие лесной полосы со стороны гололедонесущего потока уменьшает размеры гололеда. Опыты с проводом, подвешенным на высоте 2 м, показали, что

лесная полоса шириной 40 м снижает вес гололеда примерно на 70 — 75%, если провод находится, на расстоянии 15 м от леса.

Различные возвышения местности над проводами со стороны гололедонесущего потока, расположенные достаточно близко от линии, ослабляют скорость потока и приводят к уменьшению веса гололеда на проводе.

Если линия проходит по возвышенности, то за счет повышенной скорости ветра в этом месте она будет подвержена значительным гололедообразованиям в сочетании с сильными ветрами, что особенно неблагоприятно. Поэтому всегда избегают строить линии в таких местах.

Интенсивность гололедообразования зависит от отметки местности над уровнем моря. Частые и длительно сохраняющиеся условия погоды, благоприятствующие образованию гололеда или изморози, наблюдаются в определенном диапазоне отметок. Этим объясняется, почему на высоких отметках местности часто имеют место мощные гололедообразования. [5]

Разновидности гололеда в зависимости от условий их образования отличаются друг от друга формой отложения на проводе, а некоторые из них — и плотностью.

Наиболее часто наблюдаются следующие разновидности гололёда: гребнеобразный, овалообразный, футлярообразный и волнистообразный.

Гололед гребнеобразный — стекловидный слоистый лед с шероховатой поверхностью, отлагающийся на проводе с наветренной стороны (рисунок 8, В). Поперечное сечение отложения имеет клиновидную форму с остриями, обращенными к потоку ветра. Характерная для этой разновидности гололеда продольная слоистость льда (вдоль ветрового потока) объясняется быстрым замерзанием сравнительно мелких, не успевающих полностью растечься переохлажденных капель воды. Образование такого гололеда происходит при морозящем дожде, густом крупнокапельном (смачивающем) тумане или сочетании этих явлений при температуре около — 2 и ветре до 10 м /сек. Гребнеобразный гололед относится к числу видов обледенения, имеющих

адвективное происхождение. В отдельных случаях он образуется в зоне слабовыраженных теплых фронтов или фронтов окклюзий типа теплого фронта. Максимальный размер гололеда нередко достигает 50 мм, плотность его колеблется от 0,7 до 0,9 г/см³. Гололед опадает с проводов преимущественно от повышения температуры. Эта разновидность гололеда характерна в основном для возвышенных мест с большой частотой повторяемости адвективных туманов. Односторонность отложения льда этой разновидности гололеда приводит к скручиванию проводов и их вибрации. В тоже время она менее всего опасна для проводов контактной сети. Искрение контактных проводов при наличии этого отложения бывает лишь в тех случаях, когда толщина осевшего льда превышает толщину контактного провода, что встречается сравнительно редко.

Гололед овалообразный — однородный слой плотного стекловидного (прозрачного или матового) льда (рисунок 8, Б). Он отлагается на проводе преимущественно с наветренной стороны. Подветренная сторона провода имеет значительно меньше его отложение, а в отдельных случаях совершенно чиста. Поперечное сечение отложения напоминает овал. Образование гололеда происходит при мелком дожде, сочетающемся с моросью или туманом. Температура воздуха во время образования бывает от — 0,5 до — 3 °С, но может быть и ниже. Скорость ветра сильно колеблется (от 5 до 17 м/сек). Максимальный диаметр гололеда на проводе может достигать 60 мм при удельном весе 0,8— 0,9. Гололед овалообразной формы относится к фронтальным видам обледенения. Его образование происходит обычно в зонах слабовыраженных теплых фронтов или холодных фронтов 1-го рода. Указанная разновидность гололеда наиболее опасна для линий связи и электропередач. С ее появлением возникают скручивание, «пляска» и вибрация проводов, что вместе с повышенной их парусностью нередко приводит к обрывам. Опадение овалообразного гололеда с проводов происходит главным образом от повышения температуры воздуха.

Гололеды футлярообразный и волнистообразный— весьма плотный стекловидный лед, обычно имеющий гладкую поверхность. Плотность льда около 0,9 г/см³. Отличительные признаки каждой из форм заключаются в следующем.

Футлярообразный гололед отлагается на проводе более или менее равномерным слоем по всей его окружности. Волнистообразный гололед также отлагается на проводе по всей окружности, но свисающие вниз сосульки придают ему характерный волнистый вид (рисунок 8, А). Образование этих разновидностей гололеда происходит от крупнокапельного переохлажденного дождя при температуре отрицательной, но близкой к 0°С. Скорость ветра во время образования гололеда чаще всего бывает около 10 м /сек, но может быть и большей. Наиболее крупные капли и высокая температура воздуха наблюдаются именно при образовании волнистообразного гололеда. Своеобразие формы такого отложения объясняется стеканием книзу не успевающих замерзнуть капель. Возникают сосульки или волнистая форма. Максимальный размер гололеда достигает 40 мм, сцепление с проводом прочное. Футлярообразная и волнистообразная формы гололёда относятся к фронтальному обледенению. Образуются они в зоне хорошо выраженных теплых фронтов. С появлением футлярообразного и волнистообразного гололеда происходит повреждение линий связи и электропередач, особенно когда гололед сопровождается сильным 26 ветром. Обе эти разновидности гололеда наиболее опасны для электрифицированных участков железнодорожного пути и нередко служат причиной пережогов контактного провода при токосъеме. Вследствие большой плотности и округлой формы отложения льда на проводе эти разновидности труднее всего удаляются с проводов. Разрушение отложений льда естественным путем происходит обычно от повышения температуры до положительных значений. [11]

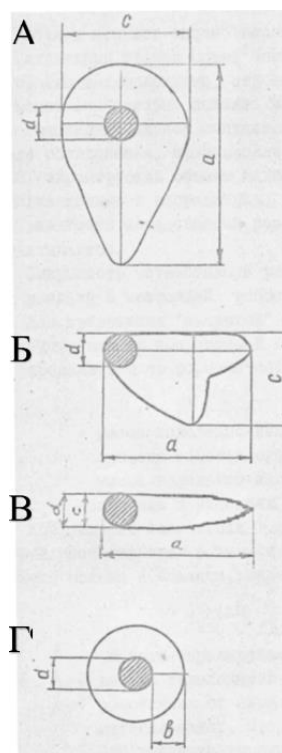


Рисунок 8. Возможные формы гололедно-изморозевых отложений (А, Б, В) и эквивалентная им цилиндрическая форма гололеда (Г)

a – большой диаметр (размер) отложения, мм

c – малый диаметр (толщина) отложения, мм

d – диаметр провода, мм.

b – эквивалентная толщина стенки гололеда, мм

А- гололёд волнистообразный; Б – гололёд овалообразный; В – гололёд гребнеобразный; Г - идеализированное представление гололеда на проводах

4. АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ НАРАСТАНИЯ ГОЛОЛЁДА ПО ДИАМЕТРУ ОТЛОЖЕНИЯ

4.1. Анализ случаев ГИО в Ставропольском крае за период 2019-2023 гг.

На территории Ставропольского края действуют 16 метеостанций (Таблица 4), которые ведут наблюдения за такими параметрами как температура воздуха, влажность воздуха, температура поверхности почвы и на глубинах, облачность, скорость ветра, осадки, атмосферные явления, опасные гидрометеорологические явления, снежный покров, продолжительность солнечного сияния и др.

Таблица 4. Перечень метеостанций на территории Ставропольского края

№ п/п	Наименование подразделения	
	Полное	Сокращенное
1.	Ставропольский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС»	Ставропольский ЦГМС
2.	Метеорологическая станция II разряда Александровское	М-II Александровское
3.	Метеорологическая станция II разряда Арзгир	М-II Арзгир
4.	Метеорологическая станция II разряда Благодарный	М-II Благодарный
5.	Метеорологическая станция II разряда Георгиевск	М-II Георгиевск
6.	Метеорологическая станция II разряда Зеленокумск	М-II Зеленокумск
7.	Метеорологическая станция II разряда Изобильный	М-II Изобильный
8.	Метеорологическая станция I разряда Кисловодск	М-I Кисловодск
9.	Метеорологическая станция II разряда Невинномысск	М-II Невинномысск

10.	Метеорологическая станция II разряда Красногвардейское	М-II Красногвардейское
11.	Метеорологическая станция II разряда Новоалександровск	М-II Новоалександровск
12.	Метеорологическая станция II разряда Рощино	М-II Рощино
13.	Метеорологическая станция II разряда Светлоград	М-II Светлоград
14.	Аэрологическая станция Дивное	АЭ Дивное
15.	Аэрологическая станция Минеральные Воды	АЭ Минеральные Воды
16.	Агрометеорологическая станция Буденновск	А Буденовск

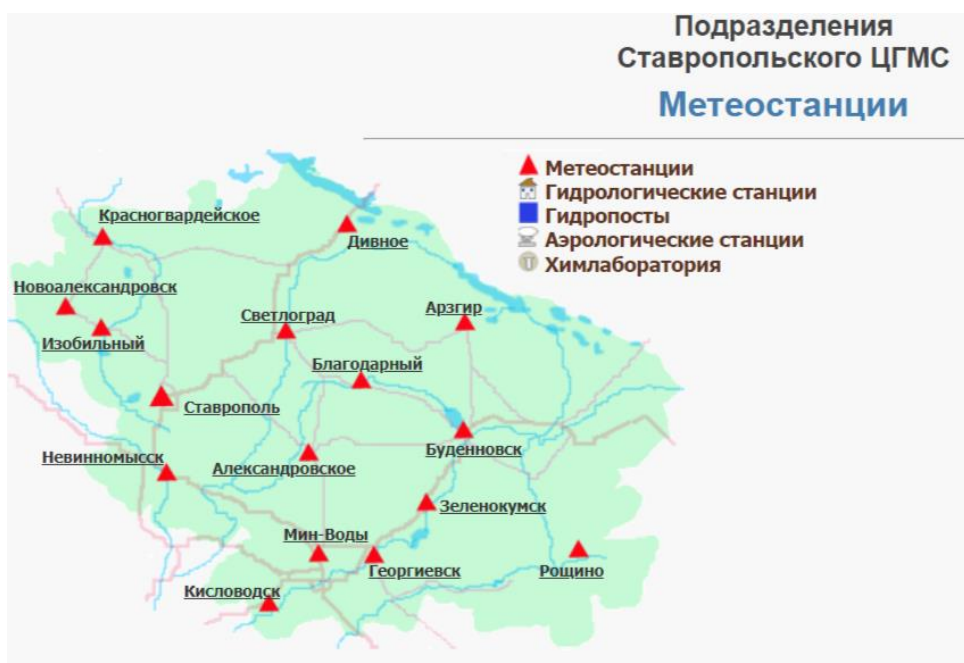


Рисунок 9. Метеостанции Ставропольского ЦГМС.

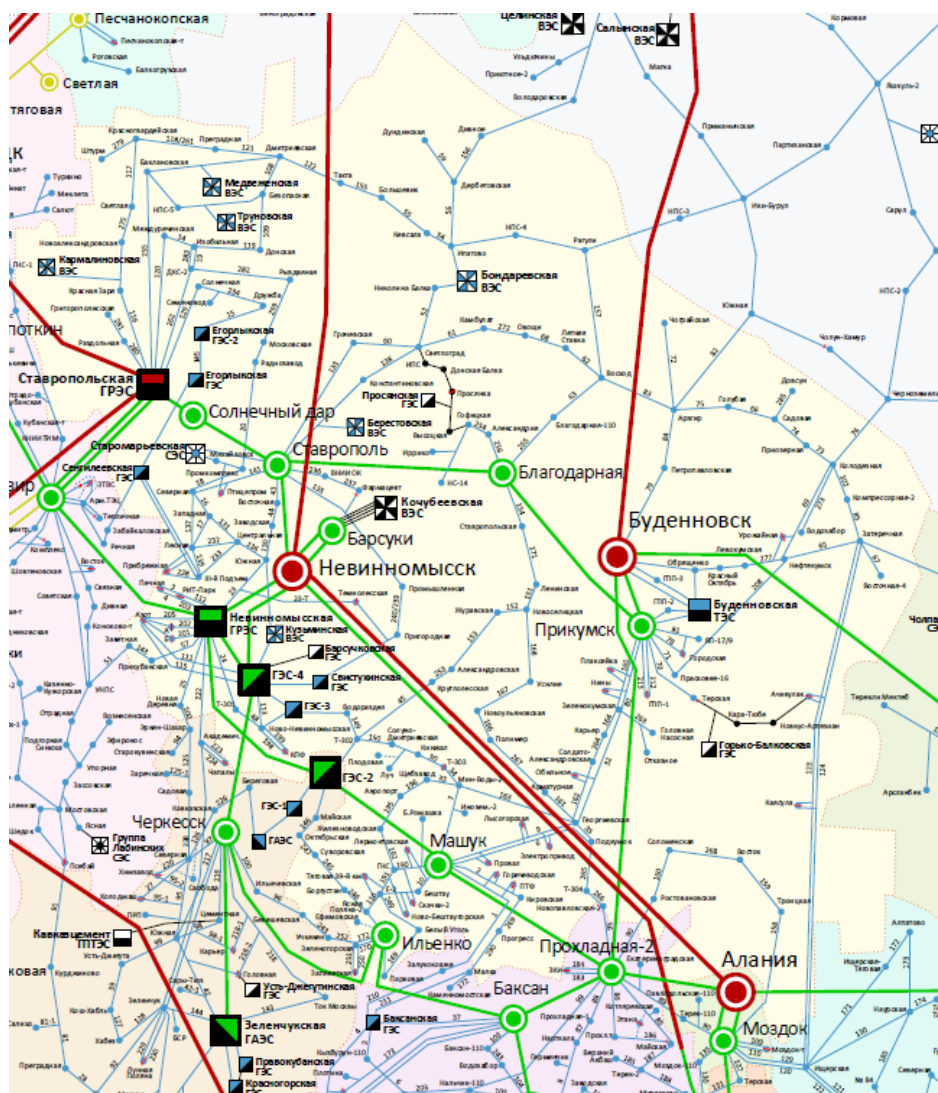


Рисунок 10. Карта-схема размещения объектов электроэнергетики (Ставропольский край)

Рисунок 9 демонстрирует наглядное расположение этих станций на исследуемой территории.

На рисунке 10 представлена схема размещения объектов электроэнергетики по Ставропольскому краю.

В графиках ниже рассматриваются количество явлений гололеда за разные года (2019-2023 гг.), на территории Ставропольского края. Станции в графике расположены по их удалению с севера на юг территории.



Рисунок 11. Всего случаев гололеда за 2019 год.

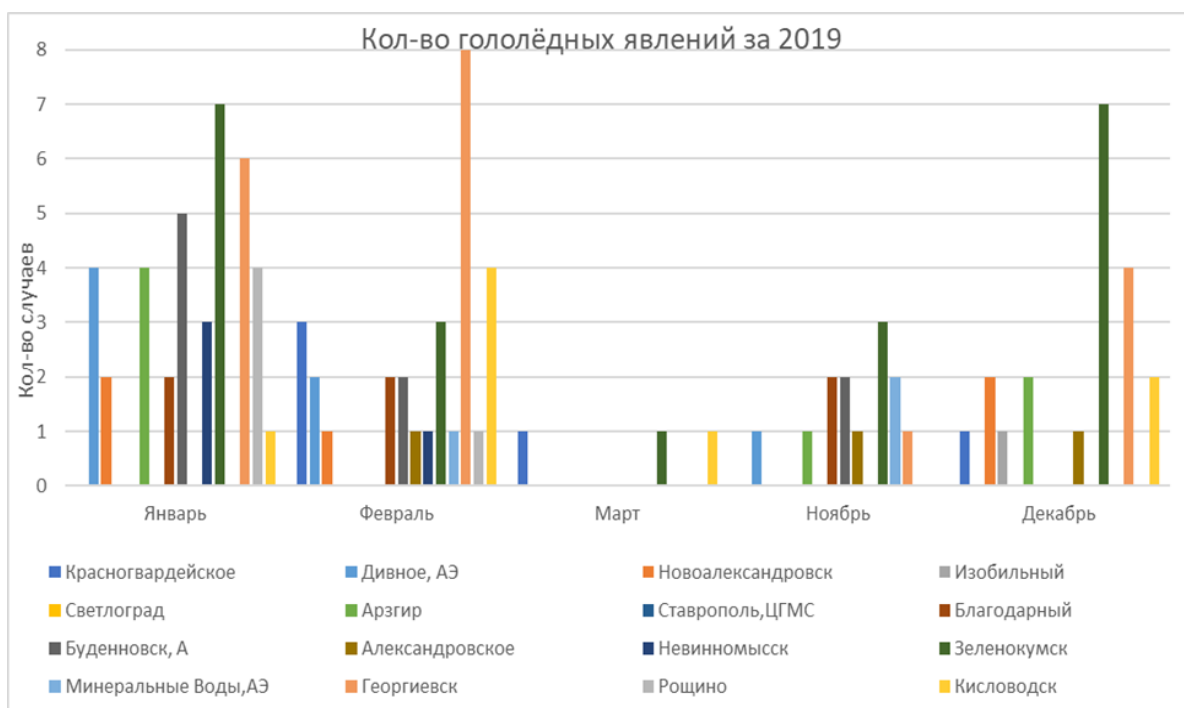


Рисунок 12. График случаев гололеда по месяцам за 2019 г.

Анализируя рисунок 11 мы можем сказать, что за 2019 год максимально количество случаев гололеда было зафиксировано на станции Зеленокумск (21 случай), а минимально на станциях Светлоград и Ставрополь, ЦГМС (0 случаев).

На втором графике (Рисунок 12) представлены случаи гололедных явлений по месяцам.



Рисунок 13. Всего случаев гололеда за 2020 год.

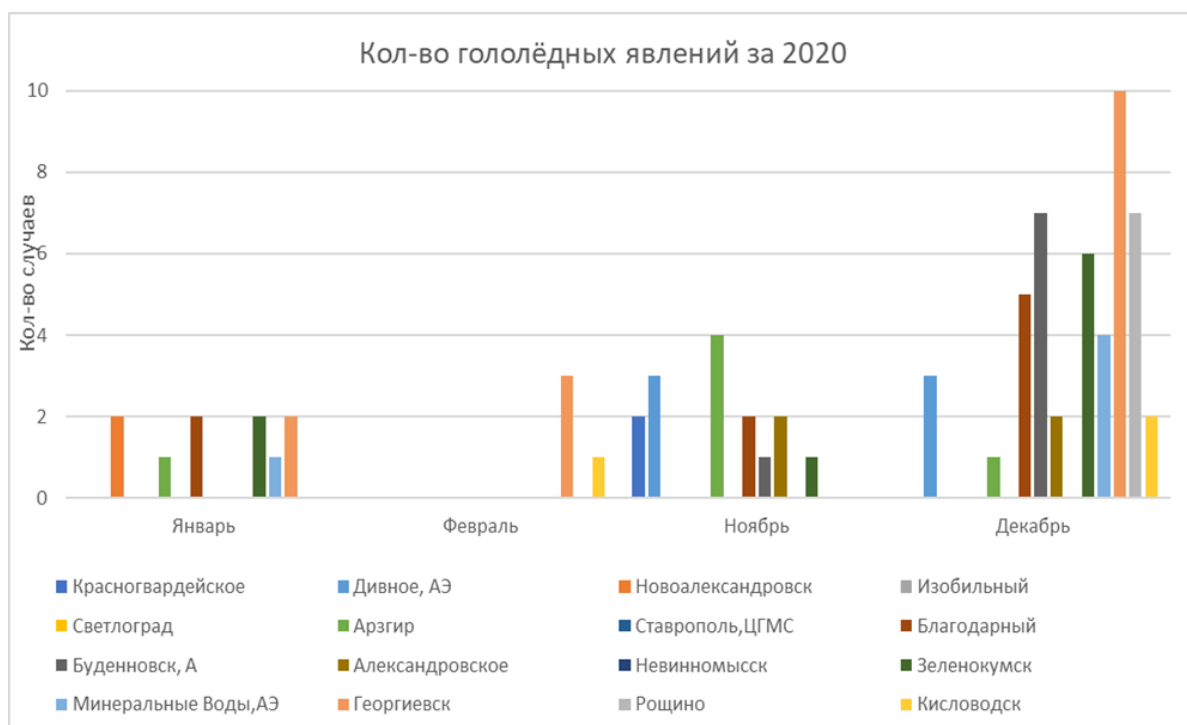


Рисунок 14. График случаев гололеда по месяцам за 2020 г.

В 2020 году количество случаев гололедных явлений снизилось. Максимальное количество явлений гололеда было на станции Георгиевск (15 случаев), а минимальное на станциях Изобильный, Светлоград, Ставрополь ЦГМС, Невинномыск (0 случаев).

Из рисунка 14 видно, что в 2020 году гололедные явления наблюдались только в январе, феврале, ноябре и декабре. С большим количеством повторений гололеда на станциях в декабре.

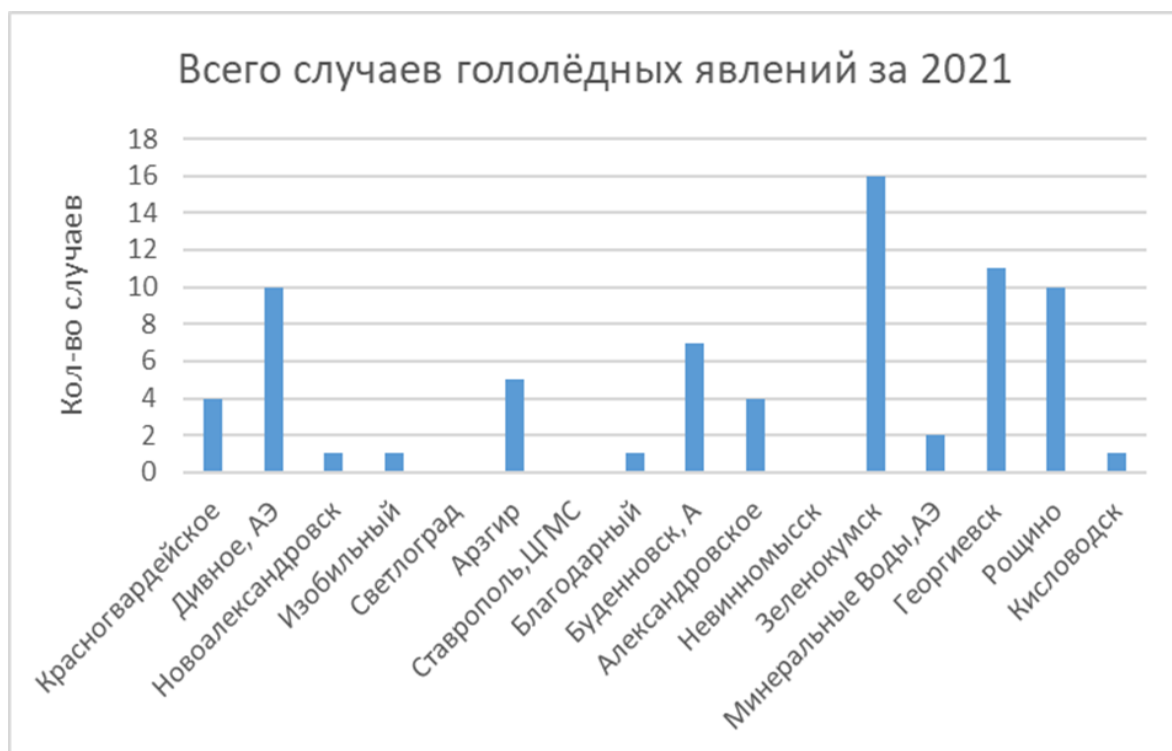


Рисунок 15. Всего случаев гололеда за 2021 год.

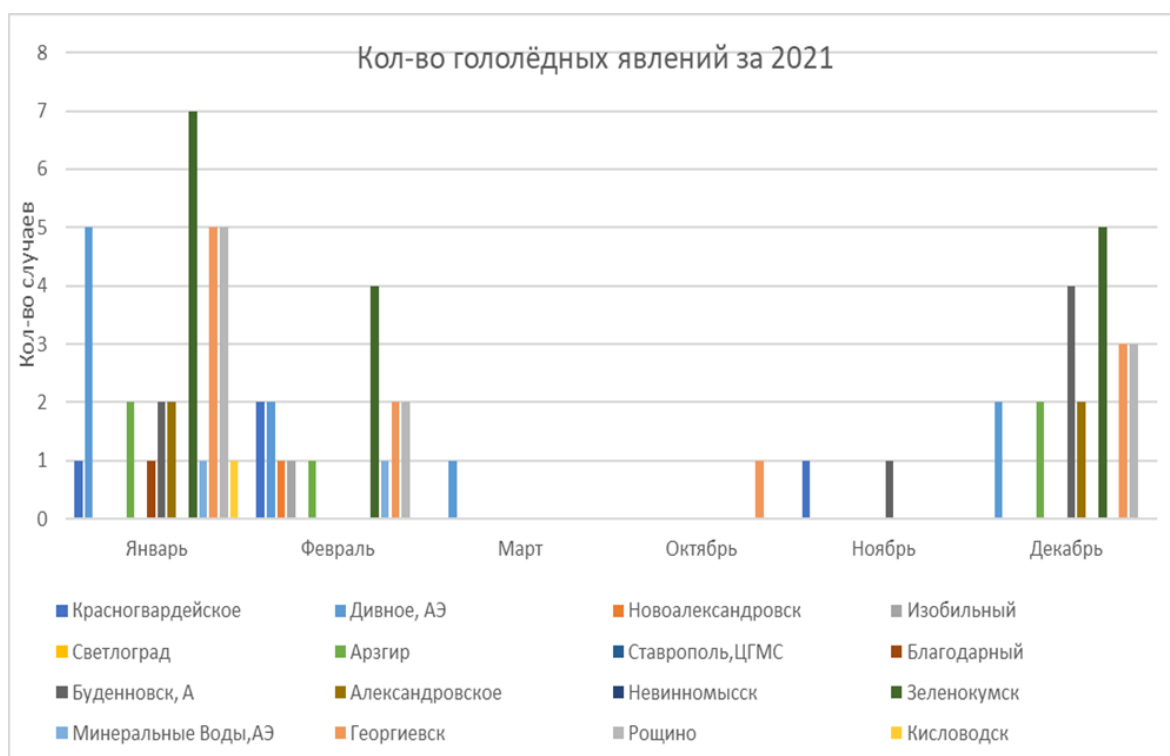


Рисунок 16. График случаев гололеда по месяцам за 2021 г.

За 2021 год максимально количество случаев гололеда было зафиксировано на станции Зеленокумск (16 случаев), а минимально на станциях Светлоград и Ставрополь, ЦГМС и Невинномысск (0 случаев).

В 2021 году гололедные явления были зафиксированы в январе, феврале, марте, октябре, ноябре и в декабре. Преимущественно больше случаев гололеда на станциях было в январе.



Рисунок 17. График случаев гололеда за 2022 г.

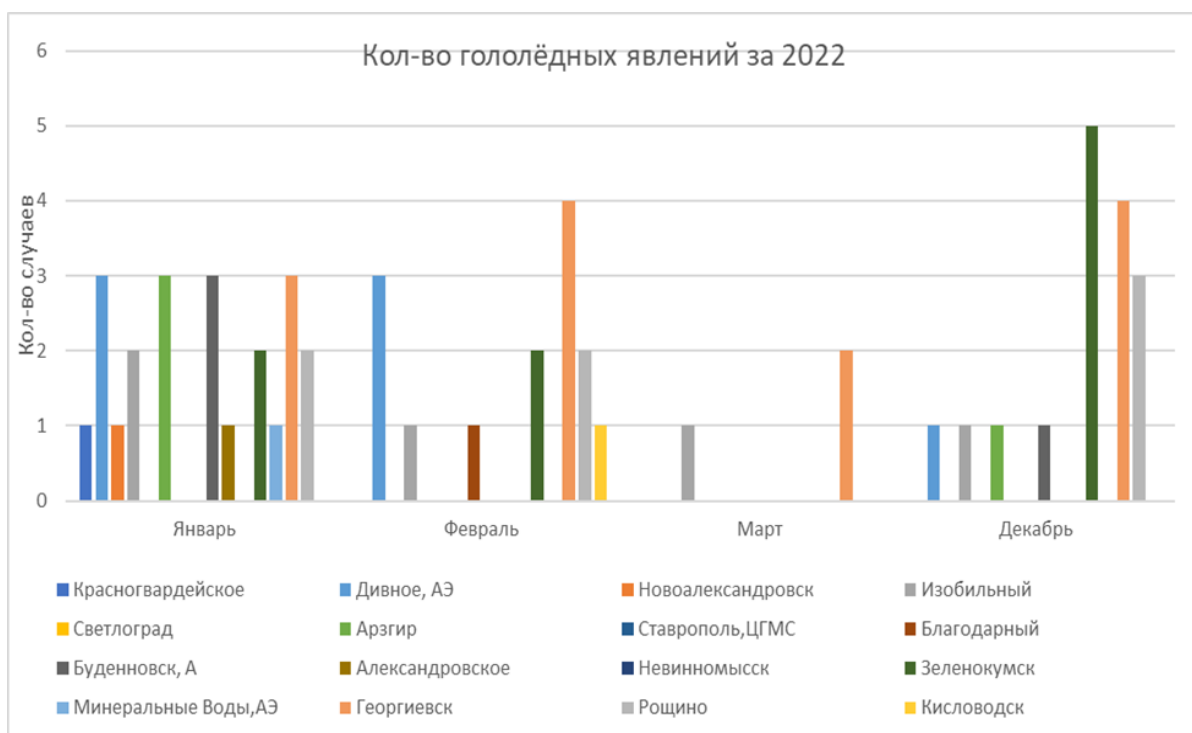


Рисунок 18. График случаев гололеда по месяцам за 2022 г.

В 2022 году количество случаев гололедных явлений снизилось. Максимальное количество явлений гололеда было на станции Георгиевск (13 случаев), а минимальное на станциях Светлоград, Ставрополь ЦГМС, Невинномысск.

Гололёдные явления были зафиксированы в январе, феврале, марте и декабре.



Рисунок 19. Всего случаев гололеда за 2023 год.

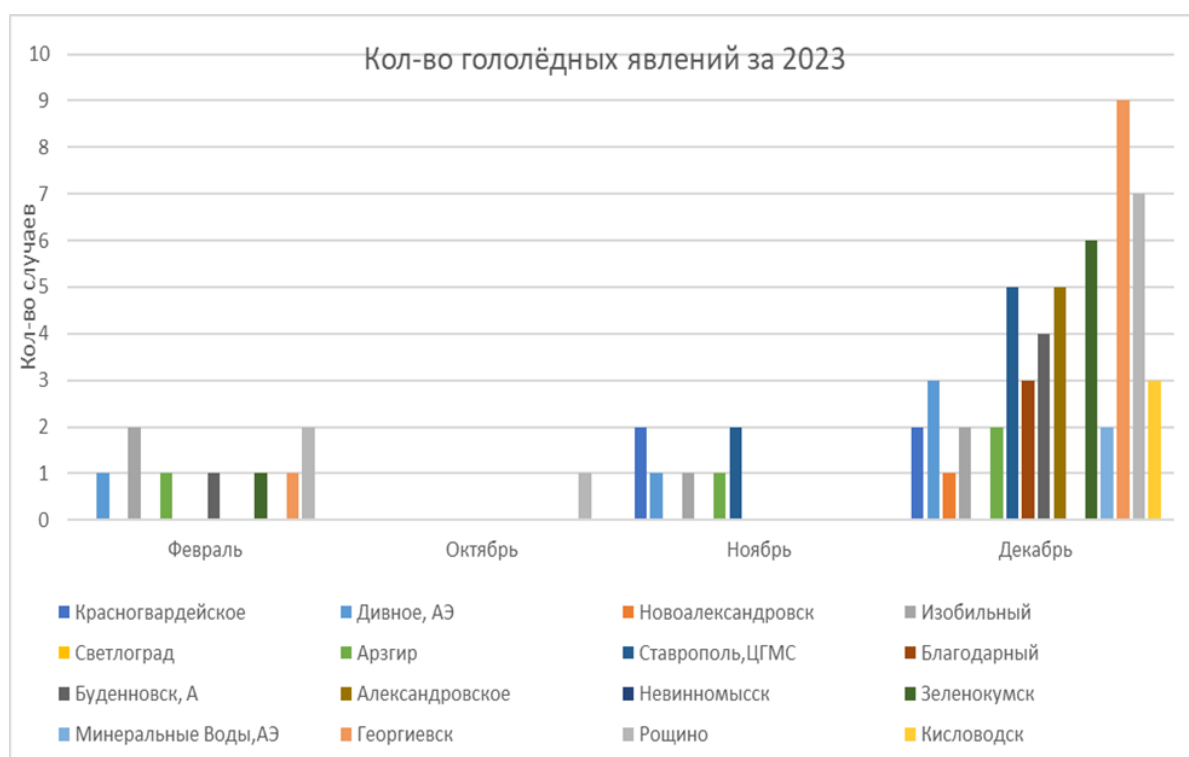


Рисунок 20. График случаев гололеда по месяцам за 2023 г.

В 2023 году количество случаев гололедных явлений снизилось. Максимальное количество явлений гололеда было на станции Георгиевск и Рощино (10 случаев), а минимальное на станциях Светлоград, Невиномыск.

В феврале, октябре, ноябре и декабре наблюдались гололедные явления. В декабре было больше случаев гололёда по станциям.

Исходя из данных на графиков, заметна периодичность появления гололедных явлений в такие месяца: январь, февраль, ноябрь и декабрь. Так же возможны случаи возникновения гололёдных явлений в марте и октябре.

4.2. Подробное рассмотрение случаев обрыва проводов ЛЭП в Буденовском округе

12 декабря 2023 года МЧС предупреждает о вероятности возникновения ЧС на территории Ставропольского края из-за сильного гололёда.

13 декабря 2023 на станции Буденновск, А. были зафиксированы опасные гололедные явления, диаметр гололеда достиг 23 мм, а его вес был 160 г. (рисунок 21)

Из-за сильного гололедообразования на линиях электропередачи, обеспечивающих электроэнергией жителей поселка Ленинский (Левокумский округ) и села Толстово-Васюковское (Буденновский округ), произошли обрывы проводов. Толщина гололедно-изморозевых отложений составила почти 8 см на воздушных линиях.

Месяц 12 Год 2023 Вып. 13									
СТАНЦИЯ	Дата	Время	Дата	Время	Продол-	Вид	Характеристики явления		
	нача	начала,	окон	окон-	жителя-				
	ла	час, мин	ча	чания	ности,	опасных гидрометеорологических явлений	1-я характеристика, экстремальное значение		
			ния	час, мин	часы		2-я характеристика, экстремальное значение		
34.Зерноград	24	0	20	24	7 32	7	ГИО МОКР. СНЕГА/СЛОЖНОЕ	Вес	72 г Диаметр 42 мм
75.Белореченск	16	14	52	17	2 25	12	ОЧЕНЬ СИЛЬН. СНЕГ ЛИБН.	К-во осадков	21.4 мм
83.Туапсе, ГМС	18	6	30	19	11 30	29	ПРОДОЛЖ. СИЛЬНЫЙ ДОЖДЬ	К-во осадков	100.7 мм
97.Буденновск, А	13	8	45	14	18 21	10	ГИО СИЛЬНОГО ГОЛОЛЕДА	Вес	160 г Диаметр 23 мм

Рисунок 21. Вырезка из ежемесячника за декабрь 2023 по Северному Кавказу.

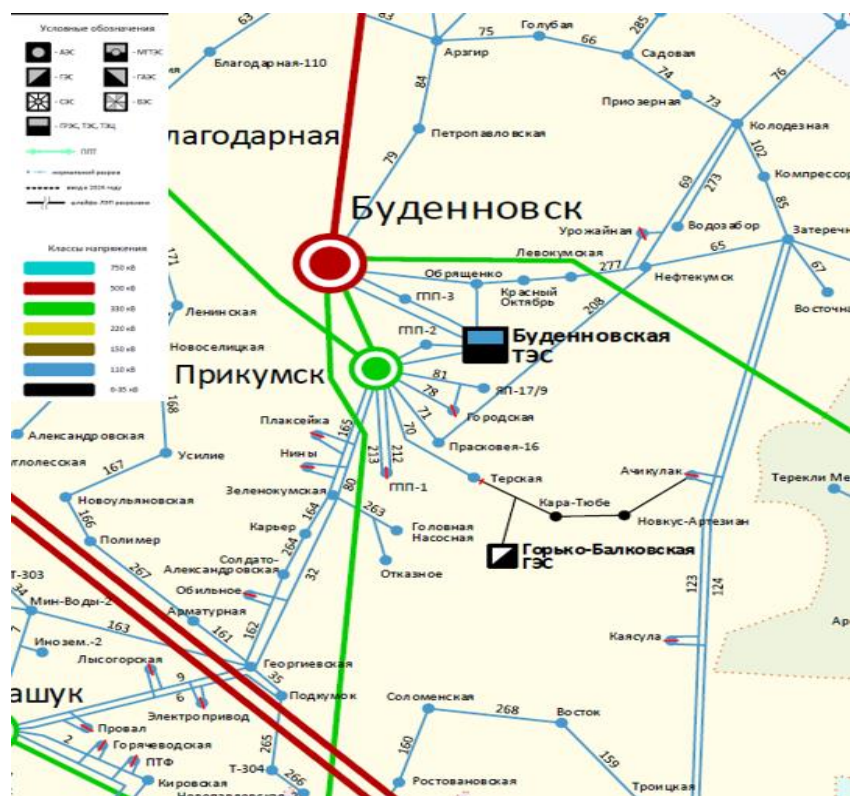


Рисунок 22. Карта-схема размещения объектов электроэнергетики (Буденовский округ)

4.2.1 Синоптическая обстановка

Синоптические карты были взяты из архива лаборатории прогнозов погоды РГГМУ за 12-15.12.2023 г. Рассматривается синоптическая обстановка по Ставропольскому краю за период, когда наблюдалось опасное явление – гололёд больше 20 мм.

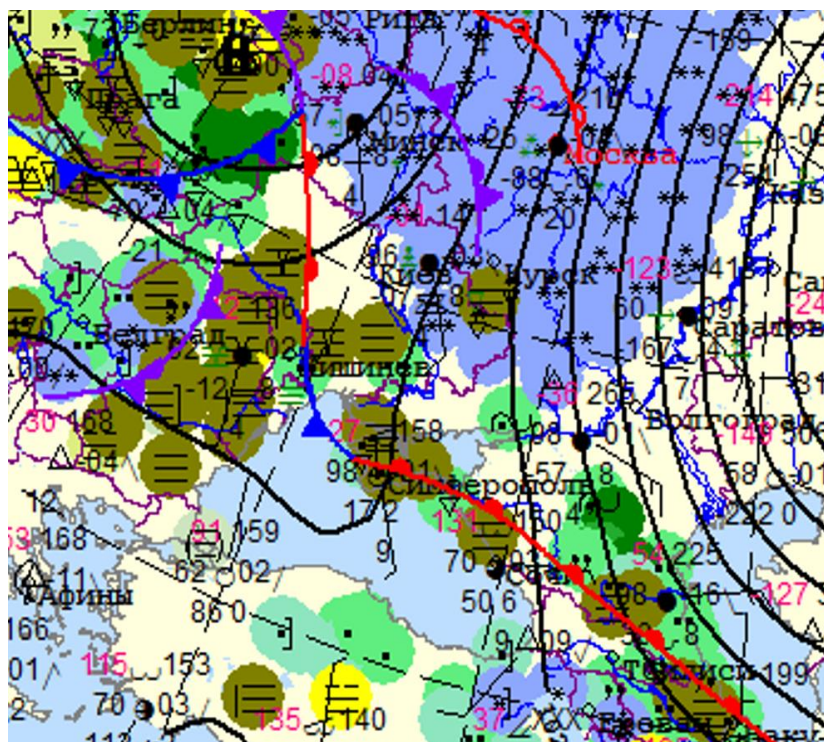


Рисунок 23. Приземная карта за 12.12.23 00 ч.

На приземной карте за 12 декабря 2023 года 00 часов (рисунок 23) на Ставропольский край идет теплый фронт окклюдированного циклона. На территории отмечается слабая замерзающая морось (гололёд).

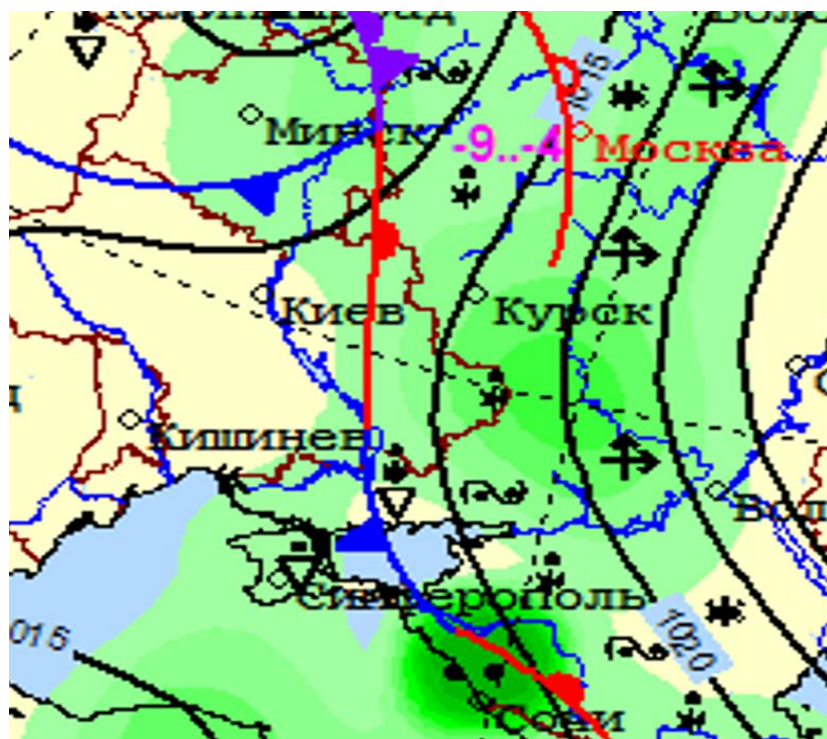


Рисунок 24. Прогностическая карта на 24 ч. от 12.12.23 за 00 ч.

На прогностической карте на 24 часа того же дня прогнозируется умеренный или сильный замерзающий дождь (гололёд), а также дождь или морось со снегом – слабые. Продолжается движение теплого фронта на Ставропольский край.

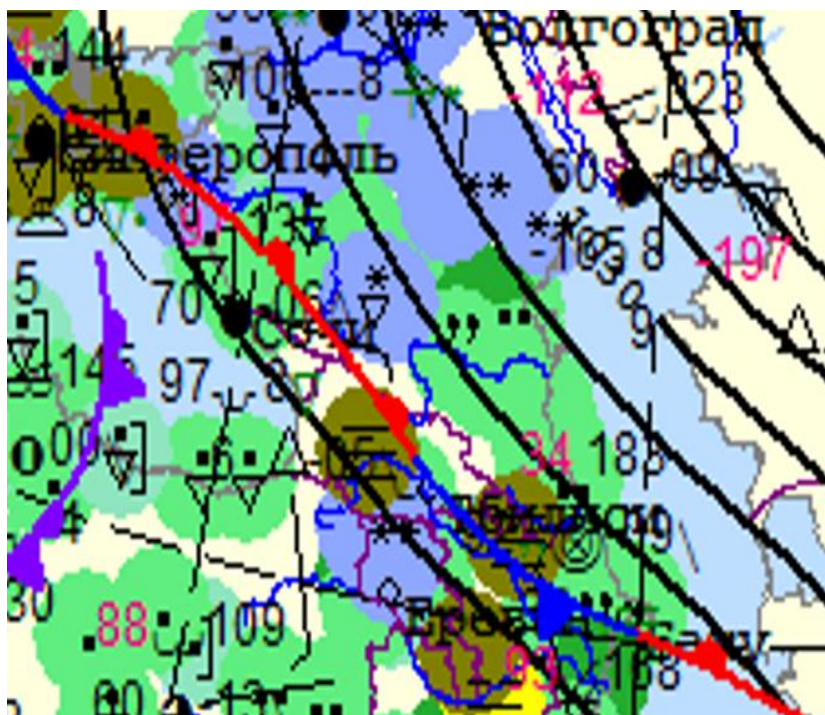


Рисунок 25. Приземная карта за 13.12.23 00 ч.

На приземной карте за 13 декабря 2023 года 00 часов (рисунок 25) гололедных явлений не отмечается. На территории наблюдается слабый ливневой снег и слабая непрерывная морось, слабый непрерывный дождь.

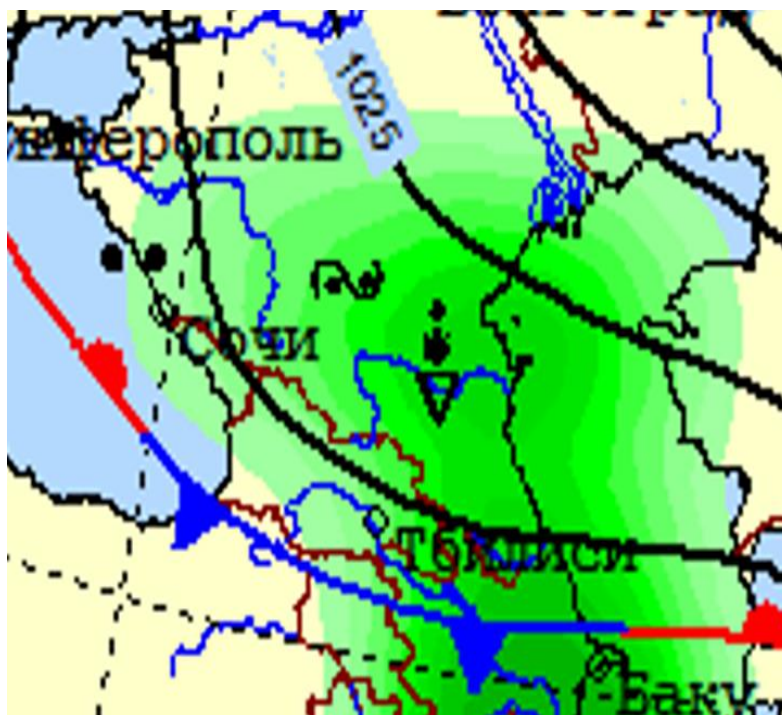


Рисунок 26. Прогностическая карта на 24 ч. От 13.12.23 за 00 ч.

Прогностическая карта на 24 часа от того же срока показывает, что возможен сильный гололёд и слабый ливневой дождь со снегом.

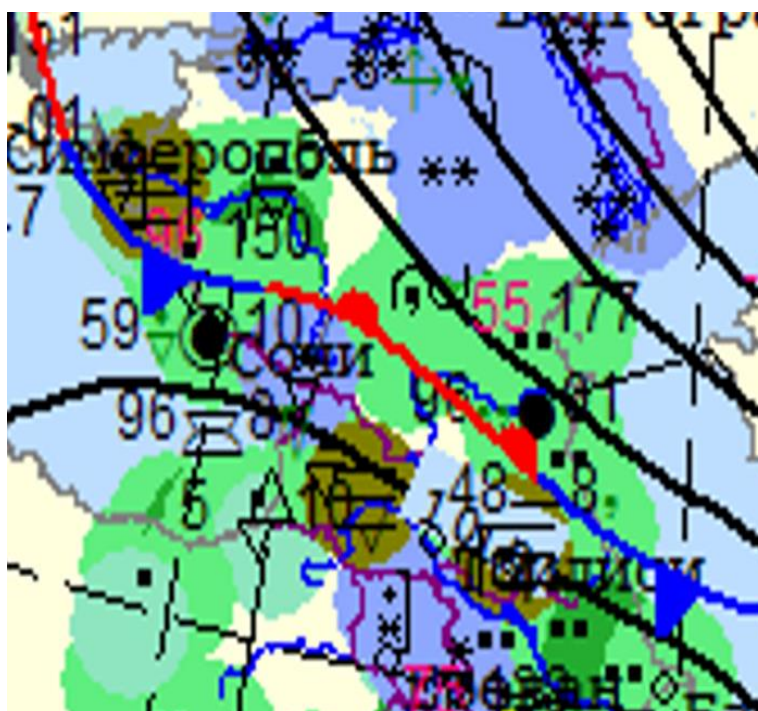


Рисунок 27. Приземная карта за 13.12. 23 12 ч.

На приземной карте 13.12.23 за 12 часов прогноз подтверждается. На территории Ставропольского края фиксируется гололедные явления,

вызванные движением теплого фронта на территорию и благоприятной метеорологической обстановкой.

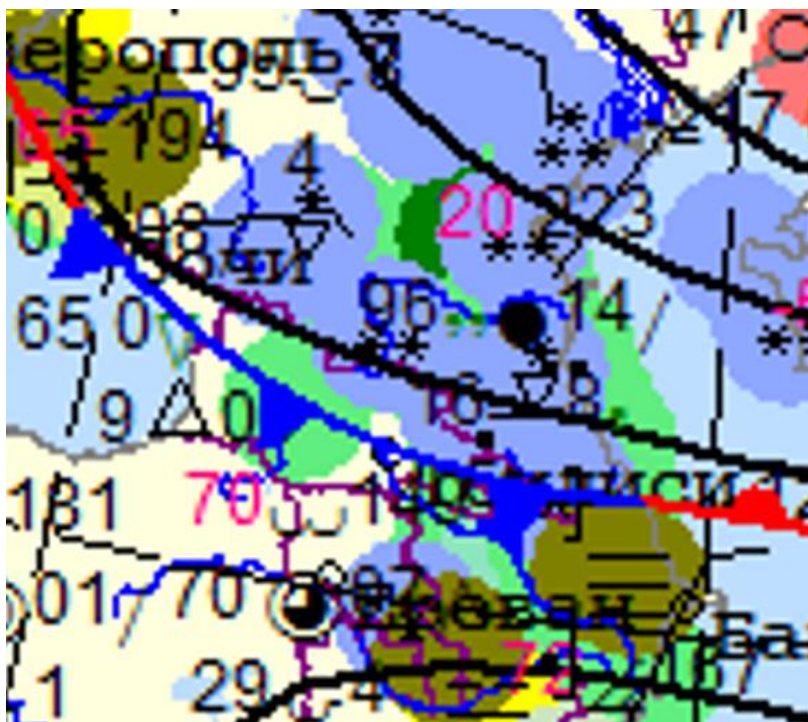


Рисунок 28. Приземная карта за 14.12.23 00 ч.

Далее на рисунке приземная карта за срок 14.12.23 00 часов гололедных явлений на карте нет, но по территории наблюдается умеренный и слабый ливневой снег, проходит холодный фронт.

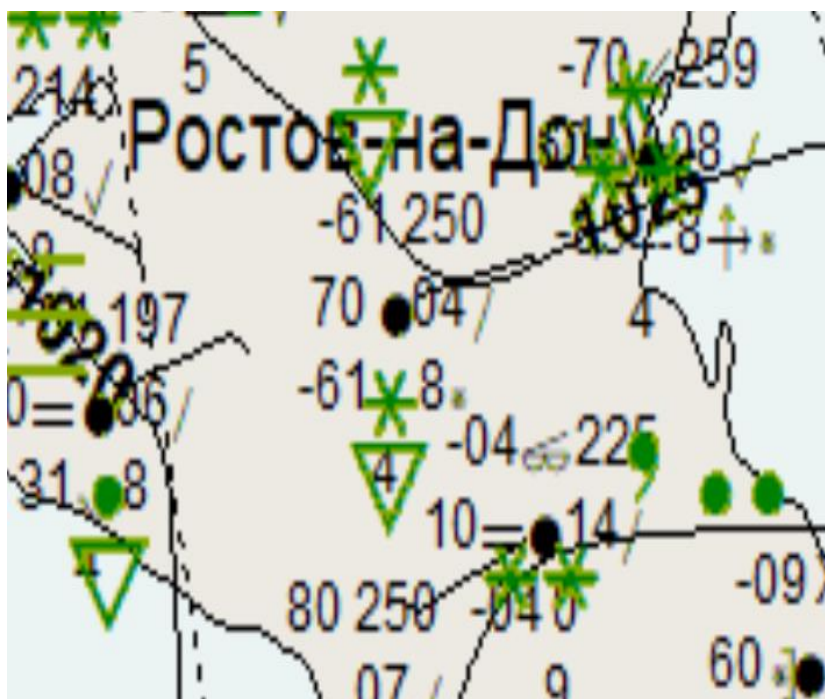


Рисунок 29. Приземный анализ за 14.12.23 00 ч.

На приземном анализе за тот же срок, так же не отмечается явлений гололеда.

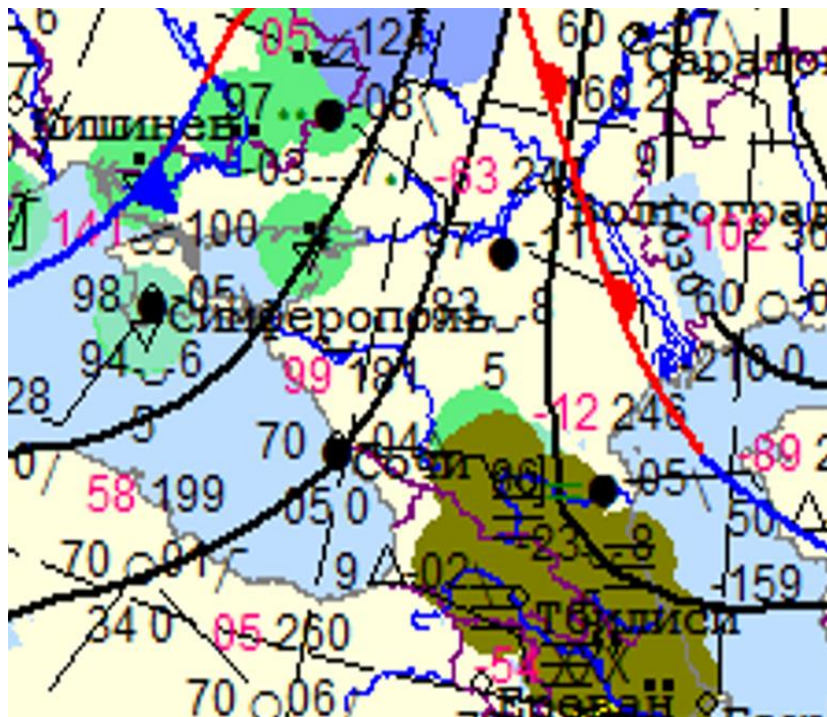


Рисунок 30. Приземная карта за 15.12.23 00 ч

На приземной карте 15.12.23 за 00 часов Ставропольский край находится в теплом секторе циклона, что благоприятно сказывается для появления гололёда, на станции Буденовск, А. он наблюдался, но на рисунке это не отмечается.

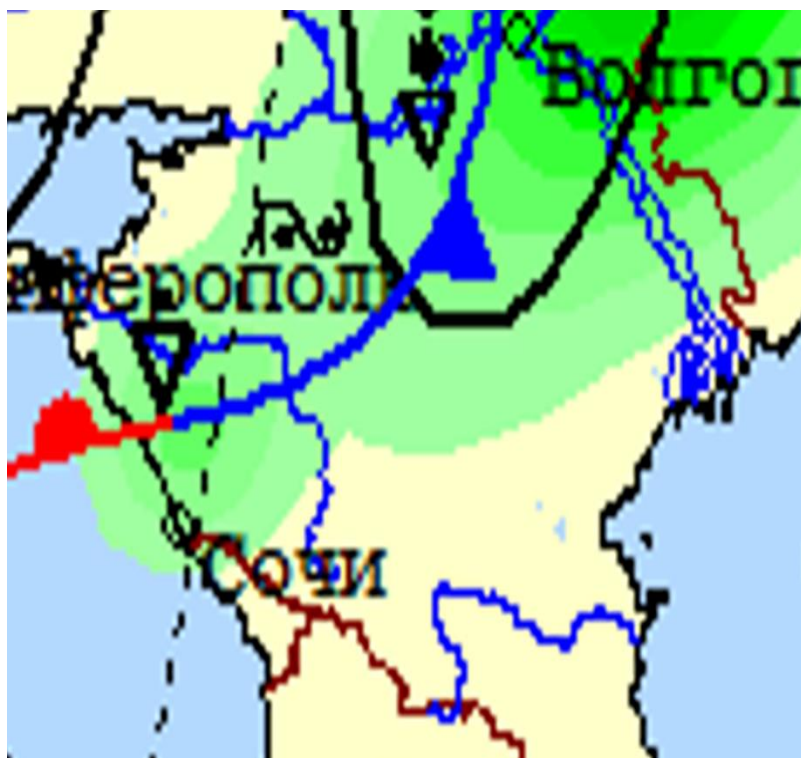


Рисунок 31. Прогностическая карта на 24 ч. От 15.12.23 за 00 ч.

На прогностической карте за тот же срок прогнозируется гололедные явления позади холодного фронта. И после на исследуемой станции отмечается гололёд, но уже не опасного диаметра. Карт на срок 16.12.23 найти не удалось, за этот период отмечался гололед и постепенно его диаметр уменьшался. 17.12.23 гололедных явлений не наблюдалось.

4.2.2. Вычисление интенсивности нарастания гололёда

Важнейшей характеристикой процесса гололедообразования является интенсивность нарастания отложений, определяемая скоростью роста по нагрузке V_P и по диаметру V_d :

$$V_P = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}, V_d = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

где t_1 и t_2 – момент первого и второго измерения, P_1 и P_2 - вес гололедного отложения, d_1 и d_2 – диаметр гололедного отложения. [12]

Расчет интенсивности нарастания гололёда позволяет понять сколько есть времени для применения противодействий гололедным явлениям на воздушных линиях.

Ниже представлена таблица с расчетом интенсивности нарастания гололёда. Данные были взяты с сайта gr5.ru, по станции Буденовск, А.

По формуле (1) была вычислена интенсивность нарастания гололёда.

Таблица 5. Интенсивность нарастания гололёда

Дата	Время, час	Диаметр, мм	Vd, мм/час
16.12.2023	06:00	17	-0,33
16.12.2023	00:00	19	-0,33
15.12.2023	18:00	21	-0,17
15.12.2023	12:00	22	0,00
15.12.2023	06:00	22	-0,17
15.12.2023	00:00	23	0,00
14.12.2023	18:00	23	0,67
14.12.2023	12:00	19	0,33
14.12.2023	06:00	17	-0,33
14.12.2023	00:00	19	-0,67
13.12.2023	18:00	23	0,33
13.12.2023	12:00	21	0,83
13.12.2023	06:00	16	0,89
12.12.2023	21:00	8	0,83
12.12.2023	15:00	3	

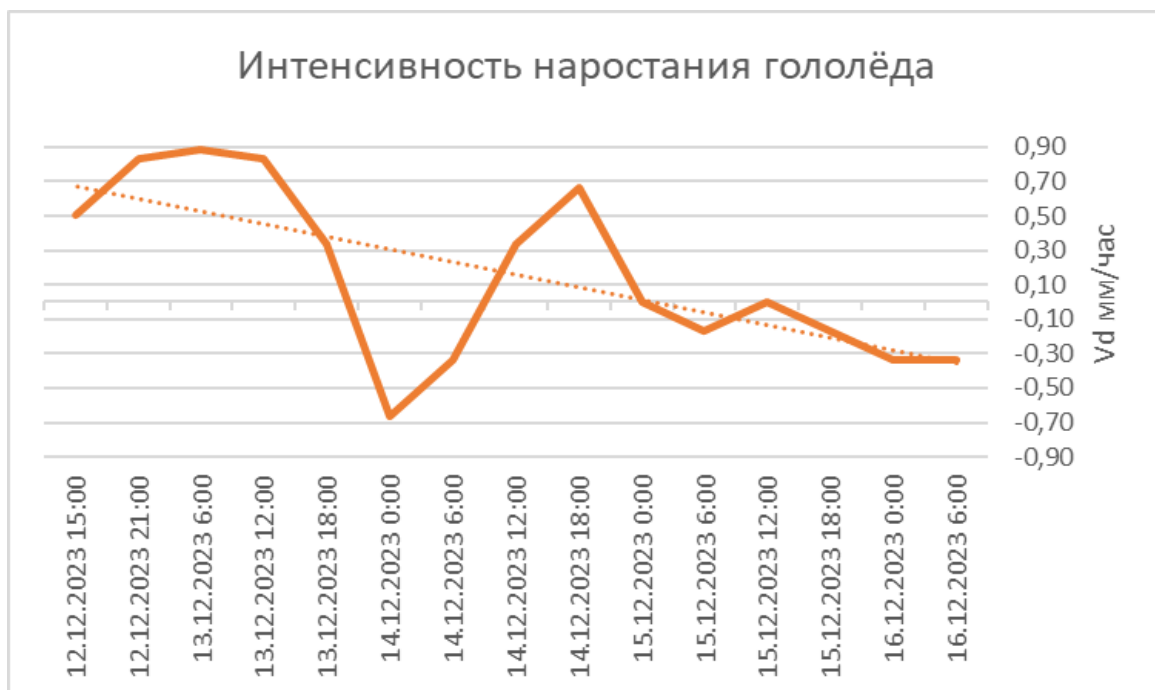


Рисунок 32. График интенсивности нарастания гололёда



Рисунок 33. График температуры на станции Буденовск, А.



Рисунок 34. График скорости ветра на станции Буденовск, А.

С 12 декабря 2023 года 15:00 на станции Буденовск А. наблюдается гололёд диаметром 3 мм, ближе к вечеру начинается интенсивное нарастание и продолжается вплоть до 13 декабря 2023 года 18:00, когда максимальный диаметр гололёда составил 23 мм, что на территории Ставропольского края считается опасным явлением. Скорость нарастания в этот период составила в среднем 0,85 мм/час. На графике интенсивности нарастания гололёда (рисунок 32) мы можем это наглядно увидеть.

После начиная с 13 декабря 2023 года 18:00 идет уменьшение интенсивности нарастания, связанное с похолоданием (рисунок 33) и понижением скорости ветра (рисунок 34). Диаметр гололеда уменьшился до 17 мм 14 декабря 2023 года в срок наблюдения 06:00.

Затем, после с движением теплого фронта и постепенным повышением температуры с -6,5 до -5 (а благоприятные условия температуры для гололеда от 0 до -5) и небольшим ветром до 3 м/с, идет нарастание гололеда в течении 6 часов 14 декабря 2023 года 12:00 до 18:00 того же дня. Диаметр гололеда увеличился с 19 мм, до 23 мм, вновь став опасным явлением. До 15 декабря 2023 года 00:00 часов увеличения диаметра гололёда не наблюдалось и

нарастания соответственно не было. Диаметр гололёда в течении шести часов оставался 23 мм. Далее идет постепенное уменьшение диаметра гололёда до 17 мм интенсивности нарастания нет. Скорость ветра уменьшается, а температура повышается в этот период (с 15 декабря 2023 года 12:00, до 16 декабря 2023 года 06:00).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цели данной работы были выполнены. Изучены условия для появления гололедных явлений, проведен анализ их пространственного и влияния на ЛЭП, на примере территории Ставропольского края.

Следующие задачи решены:

- изучены метеорологические и синоптические условия образования гололёда;
- изучены виды гололёдных явлений;
- изучено устройство и характеристики ЛЭП
- изучены меры борьбы с гололёдом на линиях электропередач.
- рассмотрены физико-орографические и климатические особенности Ставропольского края;
- проведен анализ случаев гололёдных явлений на территории Ставропольского края.

Гололед остается опасным явлением для линий электропередач. Для предотвращения аварий и поломок на ЛЭП следует не только следить за синоптической обстановкой и прогнозом погоды, но и своевременно и грамотно использовать меры для предотвращения нарастания гололёда на линии электропередач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе, Ленинград Гидрометеиздат 1980.
2. Методы краткосрочных прогнозов погоды общего назначения (Учебное пособие) Л.М. Севастьянова, А.С. Ахметшина 2011
3. <http://stavpogoda.ru/danger.shtml>
4. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*" (утв. Приказом Минстроя России от 03.12.2016 N 891/пр) (ред. от 30.12.2020)
5. <https://umecon.ru/press/view/337>
6. <https://www.elektro-expo.ru/ru/ui/17136/>
7. <https://electricalschool.info/main/vl/2915-gololed-i-izmoroz-na-provodah-vl-i-borba-s-nimi.html>
8. Монтаж и эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения Суворин А.В., 2018 г.
9. Системы контроля гололедообразования Моисеенко П.А., Коротченя В.И.
10. http://stavpogoda.ru/e_pedia.shtml?kod=%C3%EE%EB%EE%EB%E5%E4
11. Атлас обледенения проводов В.Е. Бучинский, Гидрометеорологическое издательство Ленинград 1966 г. https://meteo59.ru/files/books/Бучинский_В.Е.-Атлас_обледенения_проводов.pdf
12. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололёдных районах И.И. Левченко, А.С. Засыпкин, А.А. Аллилуев, Е.И.Сауц, Москва, Издательский дом МЭИ 2007.