

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Л. В. Мисун, А. Н. Скрипко

**СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРОЗОВЫХ
ПРОЯВЛЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

Минск
БГАТУ
2015

УДК 614.843.8

Мисун, Л. В. Снижение влияния грозových проявлений на объектах агропромышленного комплекса / Л. В. Мисун, А. Н. Скрипко. – Минск : БГАТУ, 2015. – 116 с. : ил. – ISBN 978-985-519-696-0.

Приведена статистика пожаров от грозových проявлений, их последствий, влияющих на пожарную опасность зданий и сооружений. Проведен анализ технических средств молниезащиты, обоснована методика оценки устойчивости ее функционирования. Рассмотрены особенности исследований и предложено техническое решение по устройству защиты объектов от прямого удара молнии.

Научно-методическое издание предназначено для специалистов, занимающихся организацией пожарной безопасности на объектах агропромышленного комплекса.

Табл. 16. Ил. 42. Библиогр.: 92 назв.

Рецензенты:

заместитель начальника отдела Научно-исследовательского института пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, кандидат технических наук *В. В. Кобяк*;
заместитель начальника научно-исследовательского отдела ГУО «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, кандидат технических наук, доцент *В. А. Кудряшов*

ISBN 978-985-519-696-0

© БГАТУ, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОСТОЯНИЕ И ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННАЯ СВЯЗЬ ГРОЗОВЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ АПК.....	5
1.1. Характеристика условий и факторы образования грозы.....	5
1.2. Анализ пространственно-временного распределения опасных метеорологических явлений на территории Республики Беларусь...	11
1.3. Последствия грозových проявлений, влияющие на пожарную опасность зданий и сооружений	14
1.4. Анализ методик, теоретических исследований и технических средств молниезащиты зданий и сооружений	27
2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛНИЕЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ АПК	54
2.1. Теоретическое обоснование размещения элементов молниезащиты.....	54
2.2. Прогнозирование показателя эффективности функционирования молниеотвода	65
3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	72
3.1. Методика определения необходимости устройства молниезащиты зданий и сооружений	72
3.2. Методика оценки функциональной устойчивости молниеотвода.....	85
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ.....	90
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	105

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь, несмотря на принимаемые меры, не снижается количество пожаров от грозových разрядов на объектах АПК, увеличиваются масштабы последствий грозových проявлений. При этом пожарами уничтожаются здания и сооружения, склады грубых кормов и льносырья, происходит гибель животных и птиц. Это причиняет материальный ущерб на миллиарды белорусских рублей. Основными причинами такой обстановки являются: применение не всегда эффективных мер молниезащиты; отсутствие учета опыта эксплуатации молниезащиты объектов АПК, в том числе отрицательного; пассивная позиция субъектов хозяйствования в поддержании средств защиты от грозových разрядов в надлежащем состоянии.

Значительную долю пожаров от грозových разрядов ($\approx 80\%$) составляют пожары в зданиях и сооружениях в сельской местности. Наиболее значимыми объектами, пострадавшими от пожаров, являются молочно-товарные и птицеводческие фермы, сенохранилища, склады грубых кормов и зерна.

Статистика пожаров от грозových разрядов на объектах АПК свидетельствует о том, что наиболее уязвимы ударами молнии кровли зданий и сооружений. Грозопоражаемость кровли объясняется отсутствием молниезащиты, наличием на ней токопроводящих кровельных материалов (металлические коньки, края фронтонов от конька до нижнего края крыши, дымовые трубы и др.). Более 70 % пожаров, вызванных грозowymi разрядами, происходит в зданиях и сооружениях с крышей, изготовленной из сгораемых материалов. Следует отметить, что отсутствие научно-обоснованных норм, необходимых для проведения экспертизы, создает ряд трудностей при определении эффективности молниезащиты объектов АПК. Поэтому исследования по совершенствованию характеристик молниезащиты зданий и сооружений в целях снижения влияния грозových проявлений на объектах АПК являются актуальными.

1. СОСТОЯНИЕ И ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННАЯ СВЯЗЬ ГРОЗОВЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ АПК

1.1. Характеристика условий и факторы образования грозы

Грозы (грозовые проявления) – это атмосферные явления, связанные с образованием кучево-дождевых облаков и электрических разрядов (молний) в них, сопровождающиеся сильным акустическим воздействием (громом) и выпадением обильных ливневых осадков. Важнейшее условие для образования грозы – наличие влажного и теплого неустойчивого воздуха, при быстром подъеме которого вверх может образоваться мощная облачность. Грозы образуются при неравномерном нагревании приземного слоя воздуха от подстилающей поверхности (внутримассовые тепловые грозы); при подъеме и вытеснении вверх теплого воздуха холодным на атмосферном фронте (фронтальные грозы); при подъеме воздуха вдоль горных склонов (орографические грозы). В грозовых облаках наблюдаются мощные восходящие и нисходящие потоки со скоростью до 20–30 м/с и более, интенсивное обледенение (выше изотермы 0°), разряды молнии, град, сильные ливневые дожди, плохая видимость.

Результаты научных исследований показали, что грозы над земной поверхностью распределяются неравномерно. Это объясняется тем, что на образование гроз влияют рельеф местности, влажность, характер преобладающих воздушных масс и т. д.

В нормативные документы многих стран включены карты интенсивности грозовой деятельности. По ним можно определить среднее за год число ударов молнии в единицу поверхности земли для данного региона. На основной части территории Республики Беларусь наблюдаются в среднем 2,4 удара молнии в год на 1 км² поверхности земли.

Многие развитые страны имеют системы дистанционной пеленгации грозовых разрядов, которые работают в режиме «on line». Такая система предоставляет коммерческие услуги, в частности, можно заказать выборки по частоте поражения конкретного участка поверхности земли за нужный срок наблюдения. Погрешность привязки мест удара молнии не превышает 200–500 м. Территория Республики Беларусь на данный момент времени не входит полностью в сферу наблюдения подобных систем.

Молния – одно из самых опасных природных явлений, с которым повсеместно сталкивается человек. Тяжесть последствий удара молнии напрямую связана, во-первых, с угрозой разрушения и человеческими жертвами, во-вторых, окружающая человека среда по мере насыщения чувствительным современным электронным оборудованием стала чрезвычайно уязвимой к воздействию атмосферных и коммутационных перенапряжений. Предпосылкой возникновения грозы является перемещение влажных масс воздуха. Когда эти массы приобретают восходящее движение, образуются грозовые очаги диаметром примерно 3 км. Начиная с высоты 5 км (нулевая изотерма) в облаке появляются кристаллы льда, которые могут подняться на высоту 10–12 км. В процессе образования кристаллов происходит разделение зарядов внутри грозового облака.

В верхней части облака обычно накапливаются положительные заряды, а в нижней части – отрицательные. Если между нижней частью облака и землей возникает напряженность поля в несколько десятков кВ/м, происходит разряд нисходящей молнии.

Аналогичным образом происходит распределение зарядов между землей и грозовым облаком: нижняя часть грозового облака имеет отрицательный заряд (дождевые капли), а земля – положительный.

Молния обладает полярностью – отрицательно и положительно заряженной. Для умеренных широт, в том числе и практически для всей территории Республики Беларусь, примерно 90 % молний отрицательные. Сегодня не вполне понятно, почему они более мощные. С вероятностью не менее 5 % их ток превосходит 250 кА. Средний ток положительных молний отличается не столь сильно. Вероятности 50 % здесь отвечает ток 35 кА, тогда как для отрицательных молний эта величина равна 30 кА.

Положительно заряженные нисходящие молнии развиваются из верхних слоев облака и несут повышенную опасность, так как возникают более продолжительный (до нескольких сотен миллисекунд) ток.

Молния является частным случаем искрового разряда при очень большом расстоянии между электродами. Последние исследования показывают, что общая длина канала молнии обычно достигает нескольких километров (в среднем 5 км), причем значительная часть этого канала находится внутри облака и поэтому фотоаппаратами не фиксируется. Из-за своеобразного распределения зарядов в грозовом облаке молния состоит из нескольких единичных разрядов, развивающихся по одному и тому же пути, причем каждый разряд,

так же как и лабораторная искра, начинается лидерным и завершается обратным (главным) разрядом. Скорость опускания лидера первого единичного разряда имеет порядок 1,5107 см/с, скорости лидеров последующих разрядов достигают 2,108 см/с, а скорость обратного разряда изменяется в пределах 1,5109–1,51010 см/с, т. е. от 0,05 до 0,5 скоростей света.

Канал лидера, как и канал всякого стримера, заполнен плазмой и обладает определенной проводимостью. Верхним концом лидерный канал соединен с одним из заряженных центров в облаке, поэтому часть зарядов этого центра стекает в канал лидера. Распределение этого заряда в канале должно быть неравномерным, возрастая к его концу.

По мере продвижения канала лидера под действием электрического поля канала в земле (нисходящий лидер) происходит смещение зарядов, причем положительные заряды скапливаются на поверхности земли непосредственно под развивающимся лидерным каналом. В результате напряженность поля оказывается самой большой вдоль силовой линии электрического поля, соединяющей головку лидера с местом наибольшей концентрации зарядов на поверхности земли. Лидер развивается именно по этой силовой линии, и место удара молнии в землю оказывается predetermined.

Заряды в земле скапливаются непосредственно под головкой нисходящего лидера. Заряд нисходящего лидера развивается над объектами на земле, проводимость которых очень низка, а вблизи находятся участки с хорошей проводимостью (например, река или озеро). При этом заряды стекают в участки с повышенной проводимостью, именно там возникают увеличенные напряженности поля и траектория разряда искривляется, направляясь к этим участкам. Этим обстоятельством объясняется так называемая избирательная поражаемость разряда молнии, когда молния чаще всего поражает участки земли с наиболее высоким уровнем грунтовых вод в Республике Беларусь.

По мере опускания лидерного канала средняя напряженность поля в пространстве между его головкой и землей постепенно увеличивается; в конце концов она превышает критическую, и в этом пространстве начинается бурный процесс ионизации, приводящий к образованию заполненного плазмой канала, плотность ионов в котором гораздо больше, чем в канале лидера. Вследствие своей высокой проводимости вновь сформированный канал приобретает потенциал земли, и вся разность потенциалов между лидерным

каналом и землей оказывается приложенной к нижней части канала лидера. Таким образом, на границе раздела между каналом лидера и вновь образованным каналом образуется область весьма сильных напряженностей поля. Под действием этой напряженности происходит перестройка нижней части лидерного канала, она также приобретает потенциал земли, а область повышенных напряженностей перемещается вверх по каналу. Этот процесс и называется обратным разрядом, скорость которого, следовательно, зависит от времени, затрачиваемого на перестройку канала под действием ионизации в области повышенных напряженностей поля. Если бы перестройка канала осуществлялась мгновенно, то скорость обратного разряда возросла бы до скорости света.

Основной количественной характеристикой разряда молнии является амплитуда тока молнии, поэтому в настоящее время имеется наибольшее количество экспериментальных данных именно относительно этого параметра. Наиболее распространенным прибором для измерения токов молнии является так называемый *ферромагнитный регистратор*, который представляет собой цилиндрический стержень, изготовленный из стальных опилок или проволочек, запрессованных в пластмассу. Материал, из которого получены опилки, должен обладать большой коэрцитивной силой, так что будучи помещен в магнитное поле, после его исчезновения, ферромагнитный регистратор сохраняет значительную остаточную намагниченность, пропорциональную напряженности магнитного поля в месте расположения регистратора. Измерения показали, что токи молнии изменяются в пределах – от нескольких килоампер до сотен килоампер. Длина волны тока молнии в среднем близка к 40 мкс.

Разряды молнии разделяют на две группы: межоблачные и удары в землю. Последних в 2–3 раза меньше. Межоблачный разряд никогда не развивается по прямой. На той части канала, что не закрыт облаками, всегда наблюдаются многочисленные искривления и ветвления. Длина канала разрядов межоблачной молнии достигает нескольких километров, десятков километров.

В отличие от межоблачной молнии удар молнии в землю имеет более определенные характеристики. Средняя высота грозовых облаков в Европе близка к 3 км. Приблизительно такую же длину имеют каналы ударов молний в землю.

По внешнему виду грозовой разряд разделяют на *линейный разряд*, *шаровую молнию* и *тихий разряд*.

Линейные разряды – разряды от облака к земле, а также от облака к облаку и в безвоздушное пространство вызывают наиболее тяжелые грозовые или внешние перенапряжения продолжительностью до 1,33 с, длиной до 3–10 км, чаще около 1 км; они многократны, могут быть зигзагообразные, разветвленные, ленточные и ракетообразные.

Шаровые молнии представляют собой сгусток плазмы электростатического происхождения в ограниченном объеме пространства. Физическая картина явления до сих пор изучается.

Тихие разряды – это коронное явление вокруг возвышающихся над землей предметов (дерево, сооружение, человек и т. д.), находящихся в зоне интенсивной ионизации и имеющих низкую проводимость.

Молния – мощный поражающий фактор с точки зрения пожарной опасности, который характеризуется прямым ударом молнии и ее вторичным проявлением.

Прямой удар молнии – это первичное воздействие атмосферного перенапряжения (электричества). Прямой удар молнии приводит к механическим разрушениям зданий и сооружений, вызывает пожары и взрывы, является прямой или косвенной причиной гибели людей. Механические разрушения объясняются мгновенным превращением воды и вещества в пар высокого давления на путях протекания тока молнии в названных объектах. При первичном воздействии молнии возгорание, как правило, происходит в самых высоких местах объекта; на металлических частях (кровле, радиоприемных антеннах и др.) образуются оплавления или пятна с цветами побежалости.

Вторичное воздействие молнии – электростатическая и электромагнитная индукция, занос высоких потенциалов в здания и сооружения. Электростатический заряд облака в силу электромагнитных явлений, протекающих между атмосферой и изолированными от земли предметами (радиосети, провода ЛЭП, металлические крыши зданий, оборудование внутри и вне зданий и т. п.), наводит (индуцирует) на них заряд противоположного знака. Эти заряды сохраняются и после удара молнии. Опасность таких зарядов обусловлена их электрическими разрядами на ближайшие заземленные предметы, что может вызвать электротравматизм людей, воспламенение и взрывы горючих смесей веществ с воздухом.

Явление электромагнитной индукции объясняется интегрированием тока, который протекает в канале молнии в единицу времени. Ток создает мощное магнитное поле, и, в силу электромагнитной индукции, наводит в металлических контурах (трубопроводах, сило-

вых кабельных сетях) электродвижущую силу (э.д.с.) разной величины. В местах сближения контуров между ними могут происходить электрические разряды.

Занос высоких потенциалов в здание происходит в результате прямого удара молнии в провода подземных и воздушных ЛЭП, металлокоммуникации, расположенные на уровне земли или над ней вне зданий, но входящие внутрь зданий (водопроводы, газопроводы), и т. д. Опасность занесения высоких потенциалов внутрь здания также сопровождается электрическими разрядами на заземленное оборудование.

Существует несколько теорий воздействия на здания и сооружения разрядов молнии. При этом все теории сходятся в одном: разность потенциалов до 1000 кВ между облаками и поверхностью земли вызывает разряд с силой тока до 200 кА, который сопровождается раскатами грома. Разогрев атмосферного канала разряда достигает 30 000 °С. Средняя продолжительность разряда, наиболее часто возникающего удара молнии «облако – земля», составляет примерно 60–100 мкс.

Возможные поражающие факторы и последствия от разрядов молнии приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Поражающие факторы и возможные последствия от разрядов молнии

Проявление угрозы	Поражающие факторы	Возможные последствия
1	2	3
1. Прямой удар молнии	Разряд до 200 кА, до 1 000 кВ, 30 000 °С	Поражение человека, разрушения частей зданий, пожары
2. Удаленный разряд при ударе молнии в коммуникации (до 5 и более км)	Занесенный грозовой потенциал по проводам систем электроснабжения и металлическим трубопроводам (возможный импульс перенапряжения – сотни кВ)	Поражение человека, нарушение изоляции электропроводки, возгорание, выход из строя оборудования, потери баз данных, сбои в работе автоматизированных систем

Окончание табл. 1.1

1	2	3
3. Близкий (до 0,5 км от здания) разряд молнии	Наведенный грозовой потенциал в проводящих частях здания и электроустановки (возможный импульс перенапряжения – десятки кВ)	Поражение человека, нарушение изоляции электропроводки, возгорание, выход из строя оборудования, потери баз данных, сбой в работе автоматизированных систем

1.2. Анализ пространственно-временного распределения опасных метеорологических явлений на территории Республики Беларусь

К опасным метеорологическим явлениям (ОМЯ) на территории Республики Беларусь относятся: ливневые дожди, грозы, град, шквал, засуха, заморозки, гололед, изморозь, метель, туман, сильный мороз и сильный снегопад [1]. Критерии выделения ОМЯ и их повторяемость приведены в табл. 1.2. Так, среднее количество дней в год с ливневыми дождями за период наблюдения с 1975 по 2008 г. составило почти 85 дней. При этом как ОМЯ сильные дожди чаще всего регистрируются в Витебской и Гомельской областях – один раз в 1,3 года [2]. Анализ временной динамики количества дней со шквалами показал их значительную изменчивость за последние 30 лет. В целом по республике за теплый период наблюдается около 4 дней со шквалами, а наиболее «шквалистые» территории расположены между 28° и 30° восточной долготы [2].

Наибольшее количество дней с градом регистрируется в период с апреля по август [3]. Ареалы с наибольшей повторяемостью дней с градом находятся в центральной части Беларуси, юго-западной, северо-восточной и юго-восточной ее частях. Наибольшая повторяемость дней с градом в характерный для явления период (ноябрь–февраль) отмечается на севере Полоцкой низменности. В крупных городах число дней с градом превышает аналогичный показатель для малых и средних населенных пунктов на 40 % [2].

Сильная жара достаточно редко наблюдается на территории Беларуси (примерно один раз в 8 лет). Засушливые явления носят, как правило, локальный характер: в 14 % лет периода наблюдений

с 1975 по 2008 г. засушливые явления охватывают менее 10 % площади страны, в 11 % лет – 11–25 % площади, в 9 % – 26–40 % площади, в 6 % лет – 41–55 % площади и в 3 % лет – более 62 % площади [2].

Таблица 1.2

Метеорологические явления и их повторяемость на территории Республики Беларусь за период 1975–2013 гг.

Опасное метеорологическое явление	Критерии	Единица измерений	Повторяемость
1	2	3	4
Гололед	Диаметр отложения льда на проводах не менее 20 мм	Среднее количество дней в год	9,4
Град	Диаметр от 5 до 15 мм, иногда 20–30 мм	То же	0,7
Гроза	Грозовые явления, сопровождающиеся громом и/или молнией (отдельная гроза редко продолжается более 2 ч)	То же	23,9
Дождь ливневый	Количество осадков не менее 20 мм за период не более 12 ч	То же	84,98
Заморозки	Кратковременные понижения температуры приземного слоя воздуха и поверхности почвы в вегетационный период до 0 °С и ниже	Год	Через 3–4 года (весной); 5 лет (осень)
Засуха и засушливые явления	Период, когда в течение более 5 дней подряд температура воздуха удерживается выше 25 °С, а относительная влажность днем – 30 % и ниже	То же	Через 4–5 лет

Окончание табл. 1.2

1	2	3	4
Изморозь	Диаметр отложения льда на проводах не менее 50 мм	Среднее количество дней в год	13,2
Метель	Выпадение и перенос снега при средней скорости ветра не менее 15 м/с	То же	6,3
Сильный дождь	Осадки в количестве 50 мм и более за 12 ч	Год	Через 2 года
Сильная жара	Максимальная температура воздуха не менее 35 °С в течение 5 сут	То же	Через 8 лет
Сильный мороз	Минимальная температура воздуха – 35 °С и ниже в течение 5 сут	То же	Через 9 лет
Сильный снегопад	Количество осадков 20 мм и более за 12 ч	То же	Через 10 лет
Туман	Горизонтальная видимость до 1 км и менее	Среднее количество дней в год	45,4
Шквал	Мгновенная скорость ветра (порывы) более 15 м/с в течение не менее 1 мин	Среднее количество дней в год	0,3

Наибольшая повторяемость заморозков (53 % дней) приходится на май, затем их число резко уменьшается (до 5 %), что составляет среднюю их повторяемость один раз в 5–6 лет.

Число дней с туманами за год на территории Беларуси колеблется от 30 до 75. Наибольшее количество дней – на Ошмянской, Новогрудской и Минской возвышенностях (от 60 до 75 дней). Сильные гололедно-изморозевые отложения регистрируются в Минской области один раз в 17 лет, в Брестской, Витебской и Могилевской областях – один раз в 11 лет, в Гомельской и Гродненской – один раз соответственно в 5 и 4 года [2].

Пространственный анализ числа дней с грозами позволяет констатировать их максимум на территории Белорусского Поле-

сья и уменьшение в северном направлении. Уменьшение числа гроз с юга на север связано со снижением водности облаков, обусловленной отрицательным градиентом температуры воздуха. Наряду с широтными изменениями выявлены и долготные различия в распределении гроз: ареалы малого количества дней с грозой отмечаются между 28° и 31° в. д. на севере Беларуси. Второй минимум грозовой активности отмечается в северо-западной части Беларуси (Вилейский, Докшицкий и Ошмянский районы).

Зонами активной грозовой деятельности в нехарактерный для гроз период года (октябрь – март) являются следующие территории: на северо-востоке и в центральной части – Витебская и Минская возвышенности, на юге – Пружанская и Люсиновская равнины, на юго-востоке – Стрепшицкая, Речицкая, Василевичская, Хойницкая и Комаринская низменности, Тереховская равнина. Максимальное число гроз приурочено к территории с отрицательной степенью интенсивности гравитационных аномалий.

Выраженных как положительных, так и отрицательных трендов грозовой деятельности не отмечается (1975–1987 гг. – 24,1 дня, 1988–2008 гг. – 23,8 дня). На большей части территории страны количество гроз было максимальным в 1985 и 1988 г., а также в конце прошлого столетия (1999–2000 гг.); в текущем столетии количество гроз уменьшилось [2–8].

1.3. Последствия грозových проявлений, влияющие на пожарную опасность зданий и сооружений

За грозовые периоды времени, начиная с 2001 по 2013 г., на территории Республики Беларусь произошло 2 569 случаев пожаров. Непосредственно от прямых ударов молнии произошло 2 370 пожаров, 199 пожаров – от вторичного проявления молнии, из них в 5 % случаев причиной пожара стал занос высокого потенциала, в 3 % – электростатическая и электромагнитная индукция (табл. 1.3). Наибольшее количество пожаров за исследуемый период времени от прямых ударов молнии и ее вторичного проявления произошло в 2001 г. (332 случая), наименьшее – в 2002 г. (108). Среди наиболее пожароопасных месяцев за грозовые периоды определены летние – июнь, июль и август. На их долю произошло более 80,0 %

от общего количества пожаров от грозовых проявлений за последние 9 лет. Значительную долю пожаров от грозовых проявлений составляют пожары в зданиях и сооружениях в сельской местности – 2 318 пожаров; 251 пожар произошел в городской черте. Всего в жилой застройке произошел 2 391 пожар от грозовых проявлений [9–10], 71 – на объектах АПК, расположенных на территории хозяйств. Количество пожаров от атмосферного электричества по областям и районам Республики Беларусь (за 2001–2013 гг.) приведено на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Количество пожаров от атмосферного электричества по областям республики за 2003–2013 гг.

В ходе изучения пожаров, вызванных грозовыми проявлениями, установлено, что за период с 2001 по 2013 г. на территории республики произошло 63 пожара в зданиях и сооружениях АПК. Из них в сельской местности – 60, в городской – 3 [9]. От прямого удара молнии произошло 58 пожаров, 5 – по причине заноса высокого потенциала. Динамика пожаров от грозовых проявлений на животноводческих фермах и комплексах приведена на рис. 1.2.

Статистика пожаров от грозовых проявлений (2001–2013 гг.)

Год возникновения пожара	Общее количество пожаров от грозовых проявлений	Прямой удар молнии	Вторичное воздействие молнии	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Жилый дом , хозяйстройки	Производственные объекты	Склады, гаражи	Здания и сооружения на территориях АПК	Зрелищные и культурные/по обслуживанию населения	Учебные заведения, ДДУ/научные, проектные	Объекты нового строительства, реконструкции	Село/город	Место возникновения пожара – чердак	Место возникновения пожара – этаж	Источник пожара – вводной эл. щит/кабель/ ТВ	Степень огнестойкости объекта I-IV/V-VIII	Сильный ветер/позднее обнаружение пожара	Уничтожено строений
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
2001	332	305	27	–	–	27	24	223	48	6	2	296	2	6	13	1/4	1/1	1	312/20	189	87	13/15/8	299/12	82/87	140
2002	108	97	11	–	3	20	19	39	20	4	–	103	1	0	2	0/1	0/0	0	99/9	76	23	1/0/1	101/7	37/39	44
2003	174	157	17	–	2	63	20	66	19	4	–	153	1	3	5	2/1	1/0	0	163/14	88	79	7/9/0	159/7	40/68	62
2004	202	194	8	5	2	8	24	84	67	19	–	181	1	2	6	0/0	0/0	1	184/18	125	66	6/3/6	187/11	37/85	79
2005	180	170	10	–	4	35	18	79	41	1	2	169	0	1	2	1/2	1/0	0	161/19	106	71	4/5/2	163/8	28/102	67
2006	146	130	16	–	–	19	32	19	61	5	10	127	0	2	3	2/0	0/0	0	128/18	72	66	1/6/3	124/5	22/89	53
2007	222	204	18	–	–	37	41	88	46	8	1	193	2	1	6	1/0	0/0	0	190/32	112	102	4/7/2	192/12	37/141	71
2008	182	169	15	–	5	25	17	65	61	9	–	156	0	5	1	0/0	0/0	0	159/23	107	74	4/10/0	171/9	26/110	59
2009	233	212	16	–	–	13	91	74	46	3	–	220	0	3	7	0/1	0/0	0	200/33	117	91	4/4/2	175/3	37/113	62
2010	219	201	18	–	3	39	42	78	55	2	–	200	8	6	6	0/1	0/0	0	198/21	199	20	0/3/2	75/140	19/200	107
2011	192	179	13	–	3	48	41	62	42	25	–	188	0	1	5	1/0	0/0	0	172/20	181	11	0/0/0	34/158	47/145	91
2012	165	150	15	–	3	19	34	31	58	7	4	126	1	0	8	0/0	0/0	0	154/11	141	24	1/0/0	6/159	45/120	67
2013	214	199	15	–	2	38	61	67	42	4	–	179	3	4	7	0/0	0/0	0	201/13	189	25	3/0/2	19/195	103/111	59
ВСЕ-ГО	2569	2370	199	5	24	352	422	897	551	95	19	2391	18	34	71	8/10	3/1	2	2318/251	1812	757	107/64/28	174/2395	541/1210	961

Таблица 1.4

Состояние молниезащиты на объектах АПК
Гомельской, Гродненской, Могилевской и Минской областей (2013 г.)

№ п/п	Наименование показателя	Здания					Навесы	Склады грубых кормов	АЗС	ИТОГО
		Административно-бытовые	Животноводческие	Птицеводческие	Производственные	Складские				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Имеется зданий, сооружений, подлежащих оборудованию молниезащитой всего на объекте	1096	6832	401	2599	4669	1129	1179	792	18697
1.1	оборудованных молниеотводами, установленными непосредственно на объекте	647	3749	290	1779	3122	528	1056	262	11433
1.2	Из них: отдельно стоящими молниеотводами	68	237	39	228	71	165	121	267	1454
1.3	молниезащита неисправна	120	1359	55	360	888	150	320	402	3328
1.4	молниезащита отсутствует	324	2031	26	514	1106	289	441	105	4836
2.1	протоколы испытания заземляющих устройств	178	1513	58	498	399	227	367	206	4121
2.2	Количество объектов, на которых отсутствуют акты приемки в эксплуатацию молниезащиты (либо истекли нормативные сроки)	407	1598	64	957	1344	270	402	237	5279
2.3	акты на скрытые работы (при условии ремонта или замены заземляющих устройств молниезащиты)	393	1475	67	439	1366	255	386	229	4610
2.4	акты на скрытые работы (при условии ремонта или замены заземляющих устройств молниезащиты)	150	1137	49	435	833	193	283	189	3269

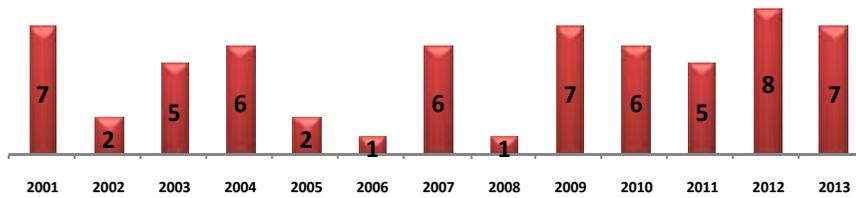


Рис. 1.2. Динамика пожаров от грозовых проявлений в зданиях и сооружениях АПК

В ходе выявления причин пожаров от ударов молнии проведены исследования по изучению фактического состояния дел по обеспечению молниезащиты на животноводческих фермах и комплексах Гомельской, Гродненской, Могилевской и Минской областей (табл. 1.4). Установлено, что на территории указанных областей находится около 19 тыс. зданий и сооружений объектов исследования, которые требуется оборудовать молниезащитой. Из них на 3 328 зданиях и сооружениях молниезащита неисправна, на 4 836 – молниезащита не оборудована [9]. Протоколы испытаний заземляющих устройств, на основании которых надзорные органы делают заключение о соответствии молниезащиты требованиям нормативных документов, отсутствуют для 4 121 зданий и сооружений, что дает право считать, что молниезащита может находиться также в нерабочем состоянии.

Определяя пожарную опасность складов нефти и нефтепродуктов при воздействии на них грозовых проявлений [12–14], можно констатировать, что с 2001 по 2013 г. на территории Беларуси имело место 11 пожаров от ударов молнии. Наиболее характерным примером за последние несколько лет является случай, произошедший 3 мая 2008 г. на территории нефтебазы РУП «Белоруснефть-Брестоблнефтепродукт» концерна «Белнефтехим», где причиной пожара стал прямой удар молнии в резервуар [15].

Окончание табл. 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2.5		проектная документация	178	1390	67	483	1007	214	401	240	3980
2.6		эксплуатационная документация по ведению осмотров, ремонтов (журналы учета состояния молниезащиты)	389	1607	69	972	1419	275	408	230	5369

Подобные пожары от грозových проявлений происходили в резервуарном парке линейной производственно-диспетчерской станции «Конда» филиала «Урайское УМН» ОАО «Сибнефтепровод» (РФ), в резервуарном парке возле с. Покровка Грачевского муниципального района Оренбургской области (РФ) в 2009 г., на ЛИДС «Каркагеевы» в 1990 г., на насосной станции «Торгили» в Тюменской области в 1979 г. [16]. В результате пожаров были причинены значительные убытки, нанесен экологический ущерб.

По результатам изучения пожаров в качестве источника загорания были определены следующие причины:

- открытый источник загорания, занесенный в паровоздушную смесь внутри резервуара через газоуравнительную систему, дыхательные клапаны и т. п.;

- нагретая до температуры самовоспламенения паров нефти стенка резервуара.

В условиях уменьшения остаточного ресурса технологического оборудования вследствие коррозии, усталости, старения и износа, несвоевременного проведения ремонтных работ, а также недостаточного контроля состояния средств защиты, возрастают вероятность чрезвычайных ситуаций и размеры ущерба от них на объектах исследования. Такое положение дел требует значительных капиталовложений на модернизацию парка оборудования или совершенствование средств защиты, что, в свою очередь, ведет к переработке или доработке действующих в данной области технических нормативных правовых актов (далее – ТНПА). Для изучения условий функционирования молниезащиты на объектах исследования был проведен эксперимент: разработан перечень критериев, позволяющих дать оценку фактическому состоянию средств и способов молниезащиты.

Анализ полученных данных по исследованию состояния молниезащиты на объектах хранения нефти и нефтепродуктов в 2013 г. показал, что на территории республики из 4 435 объектов нефтехимического комплекса, подлежащих оборудованию молниезащитой, оборудованы 4 353 объекта (98,2 %), на 11 объектах молниезащита неисправна (из них 9 объектов – непосредственно резервуары хранения нефти и нефтепродуктов), на двух – отсутствует (один объект – резервуар хранения нефти и нефтепродуктов). На трех объектах исследования нормируемые показатели сопротивления заземления не соответствуют установленным значениям электрического сопротивления, на 36 – соответствие сопротивления заземления требованиям норм не выявлено по причине отсутствия протоколов испытаний сопротивления заземления (из них 30 объектов – непосредственно резервуары хранения нефти и нефтепродуктов). На 60 объектах отсутствует документация или фиксация по ведению осмотров, ремонтов, необходимая для своевременного выявления нарушений и неисправностей молниезащиты. Отсутствуют акты приемки в эксплуатацию устройств молниезащиты на 63 объектах, паспорта на заземляющие устройства – на 80 объектах.

Такая обстановка позволяет сделать следующие предположения:

- организации, эксплуатирующие склады нефти и нефтепродуктов, заинтересованы в получении прямой выгоды. Выбор того или иного способа или средств молниезащиты, его периодические контроль и проверки будут обуславливаться не обеспечением безопасности функционирования, а дешевизной реализации заложенных в нем технических требований и организационных мероприятий;

- существующая нормативная база отражает решение далеко не всех вопросов обеспечения пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов при воздействии на них грозových проявлений.

Ежегодной статистике нарушений требований молниезащиты за последние несколько лет способствовал разброс требований ТНПА [17–24], что усложняло процесс принятия решения по соответствию устройства молниезащиты требованиям норм [25–26]. В настоящий момент документом, содержащим мероприятия по техническим и некоторым организационным вопросам молниезащиты складов нефти и нефтепродуктов, является ТКП 336-2011 Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций [27]. Требования указанного кодекса в некоторой степени компенсируются разработкой ведомственных нормативных документов в тех случаях, когда тот или иной вопрос безопасности не находит отражения в дейст-

вующих ТНПА. Однако этот процесс сегодня направлен исключительно на внедрение технических средств защиты и характеризуется долгосрочностью принимаемых решений, обусловленных, прежде всего, самим процессом исследования. Разработка таких ведомственных документов требует значительных организационных ресурсов [28–29].

Анализ нарушений по устройству молниезащиты, причин пожаров на складах нефти и нефтепродуктов показал, что требования ТКП 336-2011 также не в полной мере соответствуют современным условиям эксплуатации молниезащиты. Существенным остается вопрос слива и налива нефти и нефтепродуктов. Причиной, способствующей развитию пожара от удара молнии в г. Бресте на территории нефтебазы, стала операция по сливу бензина АИ-92 из железнодорожных цистерн без учета метеобстановки. При проведении экспертизы при изучении требований Правил технической эксплуатации складов нефтепродуктов [25] было установлено, что время прекращения работ не оговорено внутренними инструкциями, время, необходимое для завершения операций по сливу, наливу, переливу, превышает время появления грозового фронта на территории складов. Кроме этого, в действовавших на тот момент времени требованиях [25; 30] не было рекомендаций по применению материалов для устройства заземления в агрессивных средах (территория объектов хранения нефти и нефтепродуктов), требований к методам контроля состояния элементов молниезащиты. Обстоятельства пожара, произошедшего 12 июля 2010 г. на территории парка светлых нефтепродуктов ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод» концерна «Белнефтехим» в г. Мозыре, показали, что условием, способствующим развитию пожара, может послужить наличие опасных концентраций паров ЛВЖ над поверхностью резервуара у газоуравнительной системы и дыхательных клапанов, фланцевых соединений при нормальных режимах работы емкостей для хранения нефти. Инициатором воспламенения опасных концентраций паров ЛВЖ может послужить незавершенный искровой электрический разряд. В действующих ТНПА опасность зажигания незавершенным искровым электрическим разрядом не констатируется, за исключением требования по обязательному включению в зону защиты молниеотвода пространства над обрезом газоотводной или дыхательной трубы, ограниченного полусферическим радиусом 5 м, указан не весь перечень документации на устройство молниезащиты, что влияет на качество ее проверки.

В целях повышения уровня безопасных условий функционирования складов нефти и нефтепродуктов, а также исключения указанных нарушений требований по молниезащите необходима выработка алгоритма, с указанием необходимого комплекса требований в действующие на территории республики ТНПА по молниезащите для упрощения процедуры проверки.

Профилактическим мероприятием по оценке состояния и работоспособности молниезащиты может послужить система контроля, которая определяет алгоритм принятия решения по устройству молниезащиты на различных стадиях эксплуатации (рис. 1.3).

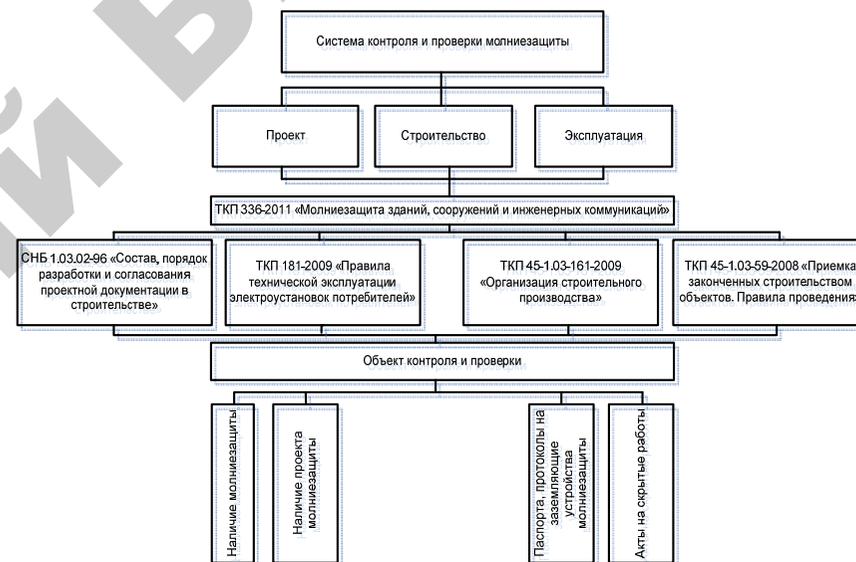


Рис. 1.3. Система контроля и проверки молниезащиты, действующая с 1 ноября 2011 г.

Основными предпосылками разработки системы контроля стал разброс требований к молниезащите в зависимости от стадии ее эксплуатации по разным ТНПА, а также отсутствие практики единообразия контроля за исполнением требований при осуществлении проверки молниезащиты (осмотров, проверок, обследований). Еще несколько лет назад для принятия решения по устройству молниезащиты необходимо было руководствоваться большим количеством документов [17–20; 26; 28–35]. Сегодня, с действием

ТКП 336-2011 – единого документа, процесс принятия решения по устройству и эксплуатации молниезащиты стал немного проще по причине упразднения некоторых документов [17–20; 31], но, как и прежде, усложнен отсутствием единого подхода к ее проектированию и эксплуатации [36–37].

С учетом личного опыта можно сделать вывод, что система контроля за молниезащитой должна состоять из блоков, определяющих цикл существования объекта (проектирование, строительство и эксплуатация), и перечня необходимых для работы действующих в области молниезащиты ТНПА. В зависимости от цикла и количества ТНПА выбирается необходимый объем требований к ней.

Процесс системы контроля и проверки молниезащиты должен быть последовательным. Каждый последующий этап в системе подразумевает, что объектом контроля послужат, в том числе, объекты предыдущих этапов. Например, при проверке молниезащиты на стадии строительства объекта будет затребована информация по проектной документации, необходимой для контроля на стадии проектирования. Проверка молниезащиты в процессе эксплуатации объекта подразумевает контроль проектной документации, документации, подготовленной в процессе строительства (сертификаты на строительные изделия, акты на скрытые работы и т. д.). На каждом этапе эксплуатации объекта для проверки молниезащиты определяется минимум требований, согласно которым выбираются объекты контроля. В совокупности с визуальным осмотром молниезащиты на объекте, проводимом, например, при пожарно-технических обследованиях, система контроля позволит давать информативные заключения о соответствии эксплуатации молниезащиты на объекте существующим нормативным требованиям.

Статистические данные по пожарам, произошедшим от грозových проявлений, свидетельствуют о том, что кровли зданий и сооружений наиболее уязвимы ударами молний (1 812 случаев возникновения пожаров). Грозопоражаемость кровель объясняется наличием на них токопроводящих кровельных материалов: металлические коньки, выступающие токопроводящие элементы кровли, края фронтонов от конька до нижнего края крыши, дымовые трубы. Также усугубляют ситуацию телевизионные антенны жилых домов (28 случаев, повлекших возникновение пожара). Из-за ударов молнии в другие элементы строительных конструкций зданий и сооружений (стена, балконы), а также инженерного оборудования (электрический ввод в здание) произошло 107 пожаров [10].

Более 2 000 пожаров, вызванных грозowymi проявлениями, произошло в зданиях и сооружениях из горючих строительных материалов: разновысотных одно-, двухэтажных дачных и садоводческих строениях, жилых домах, хозяйственных постройках с деревянными двухскатными стропилами, горючим кровельным материалом, роль которого в большинстве случаев выполнял рулонный рубероид, деревянными несущими конструкциями.

Выявленный перечень объектов пожаров, причины пожаров указывают на недоработки в области нормирования молниезащиты. Ряд условностей и двухзначных трактовок в определении необходимости устройства молниезащиты, как по ранее действовавшему РД 34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений [31], так и по ТКП 336-2011, создает ошибочные мнения в проектных решениях, при экспертизе и обследовании молниезащиты на объекте, что ведет либо к недооценке, либо к переоценке требований.

Например, в соответствии с п. 2.32, 2.33 РД 34.21.122-87 защита от заноса высокого потенциала обеспечивалась присоединением на вводе в здание токопроводящих инженерных сетей и систем к заземлителю электроустановок или защиты от прямых ударов молнии. Несмотря на предложенные инструкцией требования, защита от заноса высокого потенциала на объектах жилищно-гражданского назначения не выполнялась, что послужило причиной пожара 15 июля 2008 г. в садовом товариществе «Шарик», расположенном в о. п. Рыбцы Пуховичского района Минской области. Вследствие заноса высокого потенциала через вводное электрическое устройство в дачный дом огнем уничтожено чердачное помещение. Согласно статистическим данным, из-за случаев попадания молнии в электрический ввод в здание вероятность пожара в чердачном помещении достаточно высокая. Процессы зажигания горючих материалов (древесины лиственных и хвойных пород) от удара молнии частично исследованы в работах [38–39].

Следует отметить, что роль молниезащиты также возрастает в связи с возможностью повреждения различных слаботочных электроустановок вследствие заноса высоких потенциалов в электрические сети здания [40–41]. Зачастую используемое электрооборудование не присоединяется к общему контуру заземления (который может отсутствовать), что влечет выход из строя бытовых приборов

электрической энергии. Приборы также могут служить источником возникновения пожара по причине электростатической или электромагнитной индукции от близкого молниевых разряда.

Статистические данные свидетельствуют, что вследствие прямого удара молнии в кровлю (негорючую) объектом возгорания может стать настил крыши при деревянной стропильной системе, нагретый выше температуры воспламенения древесины. В последнее время в строительной практике в качестве кровли используются листы металла или металлочерепицы. Такой способ практичен с экономической точки зрения. При этом металлическое покрытие крыши оказывается изолированным от земли. Даже при отсутствии грозы в металле кровли может накапливаться статическое электричество [33–40]. При этом величина напряжения при соответствующей силе тока становится опасной для человека, а электростатический разряд в виде искры может поджечь горючий кровельный материал и привести к последующему возникновению возгорания. Прямые удары молнии в металлическую кровлю могут вызвать прожоги и оплавления. Кровельное железо или металлическое покрытие из металлочерепицы молния прожигает. В расплав уходит около 2 г металла, а характерный радиус отверстия в большинстве случаев не превышает 1 см [42].

Пожарную опасность зданий и сооружений увеличивают переходные сопротивления контактов в местах соединения токопроводов, по которым проходит ток молнии. Из-за малой длительности действия тока молнии от контакта практически не отводится тепло. В международной практике рекомендуется площадь контакта делать большой, а нажимное усилие – предельно сильным. В таком случае переходное сопротивление контакта окажется низким, а выделившееся тепло распределится по большой массе металла [40]. С другой стороны, величину переходного сопротивления не более 0,05 Ом [30], площадь контакта между листами металлочерепицы (металлическими листами) с практической точки зрения контролировать сложно и трудоемко.

Даже с введением в действие относительно недавно ТКП 336-2011 существует потребность в использовании более действенного подхода к определению необходимости молниезащиты – информативной системы признаков. Система признаков – набор сведений о месторасположении, архитектурных, строительных и инженерных особенностей объекта. Она позволяет более гибко подойти к выявлению

предпосылок поражения молнией объекта на основании учета всех возможных условий, послуживших инициатором или способствующим появлению восходящего лидера (возникновения потенциала на объекте); определить наличие условий, способствующих возникновению пожаров в том или ином потенциальном объекте. Наличие условий определяет саму необходимость и комплекс способов и средств молниезащиты в зависимости от многовариантности и индивидуальных особенностей объекта защиты. Методика определения необходимости устройства молниезащиты предполагает возможность принятия соответствующего решения по имеющимся критериям вероятности поражения молнией объекта: чем больше критериев, тем больше условный показатель необходимости устройства молниезащиты (рис. 1.4).

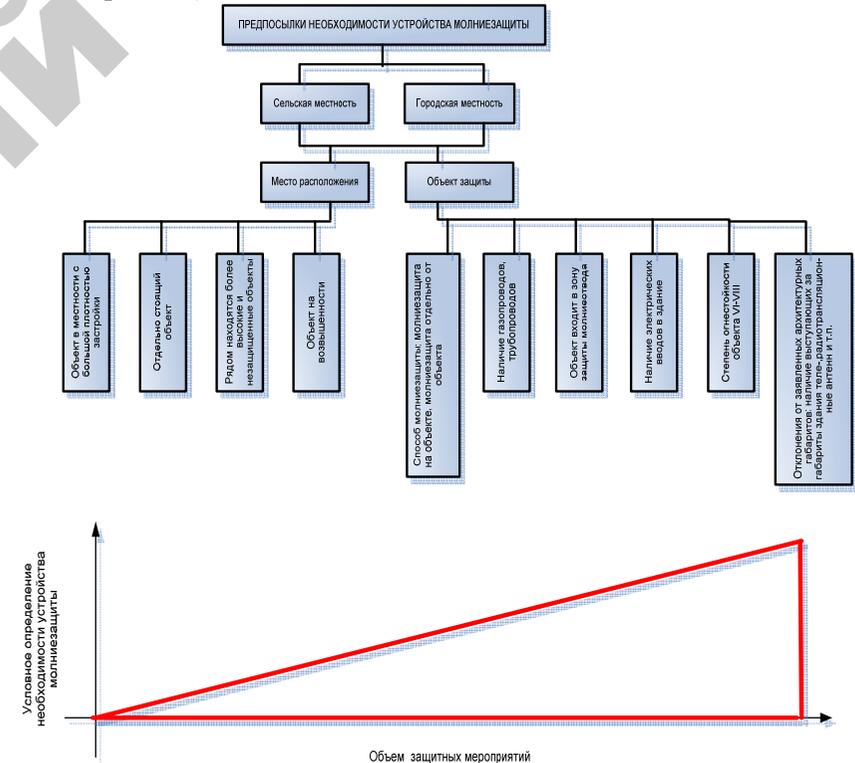


Рис. 1.4. Информативная система признаков и условный показатель определения необходимости молниезащиты

Алгоритм определения необходимости устройства молниезащиты должен состоять из ряда логически завершенных действий. Действия должны быть направлены на предмет исследования по определению необходимости защиты и содержать следующие блоки:

– *информативный блок*. В него входит краткая характеристика объекта: место расположения, этажность (высота), тип и материал строительных конструкций, материал строительных конструкций, кровельный материал, наличие инженерных коммуникаций, оборудования внутри объекта защиты и т. д.;

– *аналитический блок*. Определяется перечень предпосылок необходимости устройства молниезащиты объекта (информативная система признаков);

– *блок принятия решения*. Решение о необходимости устройства молниезащиты определяется на основании сравнения фактического перечня предпосылок с допустимым. Необходимость должна соответствовать нормируемому уровню безопасности или быть на порядок выше его. Целесообразно в таком случае, чтобы необходимость устройства молниезащиты можно было определять соответствующим технико-экономическим обоснованием или желанием заказчика или собственника.

Для практической реализации исследований НИИ ПБ и ЧС Республики Беларусь разработаны рекомендации по предупреждению пожаров от грозных проявлений [43].

1.4. Анализ методик, теоретических исследований и технических средств молниезащиты зданий и сооружений

Молниезащита – комплекс мер, направленных на предупреждение воздействия прямого удара молнии или ее вторичных проявлений на объект.

С введением в действие ТКП 336-2011 определение необходимости устройства молниезащиты имеет отличия от ранее действующих положений [31]. Так, по действовавшим ранее требованиям РД 34.21.122-87 молниезащита обосновывалась на результатах анализа характера и тяжести возможных нежелательных последствий и объединяла объекты по группам зданий с учетом их функционального назначения, геометрических размеров, степени огнестойкости и ожидаемого количества ударов молнии в объект. Однако по ранее действовавшим требованиям [31] не предусматри-

валось принятие мер по защите используемых на объектах электрических приборов, аппаратуры управления, автоматики и сигнализации – оборудования, особо чувствительного к перенапряжениям в электрических сетях, что является существенным недостатком. Согласно новым подходам, изложенным в ТКП 336-2011, необходимость оборудования зданий и сооружений средствами молниезащиты стала определяться индивидуально для каждого объекта с учетом величины риска влияния грозных проявлений, коэффициентов, характеризующих плотность ударов молнии, геометрических размеров объекта, материала строительных конструкций, инженерного наполнения объекта, факторов влияния местоположения и окружающей среды, средств пожаротушения, возможной паники людей в случае возникновения пожара и т. д.

Также следует констатировать факт, что требования [17–20; 27; 31] к определению необходимости молниезащиты и выбору мер молниезащиты основаны преимущественно на данных о наиболее опасных траекториях молнии и ее характеристиках, экспериментально полученных преимущественно в лабораторных условиях [42, 44]. Это в какой-то степени способствовало и способствует:

- к недооценке молниезащиты;
- воздействию нисходящих лидеров молнии таким образом, если бы на один объект влиял лидер одной молнии.

Все вышеприведенные положения способствовали тому, что была предпринята попытка уйти от «консервативных» подходов к определению зон защиты молниеотводов, заменив их данными, полученными в процессе разработки и использования имитационной модели воздействия молнии на объекты [45]. Суть имитации заключалась в том, что, имея информацию о наиболее опасных траекториях молнии, можно оценить электромагнитное воздействие как на окружающее пространство, так и внутри объекта. Предлагаемый подход, предложенный в [45], рассчитывает не только вероятность поражения молнией объекта в целом, но и отдельных его элементов. Автоматизация расчетов для принятия решения о молниезащите позволяет экономить время, исключить возможные ошибки в расчетах и др. К недостаткам такого подхода, следует отнести то, что в качестве движущегося нисходящего лидера молнии принимается неразветвленный ее лидер, хотя известно, что около 95 % молний между облаком и землей – разветвленные [40], а также, что в работе объект, на который влияет электромагнитное поле молнии, условно принимает упрощенную одноуровневую геометрическую форму (прямоуголь-

ника или квадрата), и, как следствие, электрическое поле приближающегося лидера молнии будет оказывать максимальное влияние только на наиболее высокую и более близкую к лидеру молнии точку объекта. В реальных же условиях объекты представляют собой более сложную форму (например, здания животноводческих ферм и комплексов могут иметь Г- или П-образную формы), а поэтому неизвестно, как поведет себя разветвленный нисходящий лидер молнии относительно защищаемого объекта (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Разветвленный вид молнии

Заслуживает также внимания подход к определению необходимости молниезащиты, изложенный в [46], где предлагается разбить площадь, на которой располагается объект, на сетку с ячейками. На ячейку будет влиять лидер молнии на расстоянии, равном трем высотам объекта от периметра самого объекта. Согласно такому подходу сперва суммируется прогнозируемое число состоявшихся ударов молнии в каждую ячейку площади, затем путем перебора всех возможных потенциалов лидерного канала молнии, возникающих с определенной вероятностью, а также мест расположения ячеек, изучается ситуация распределения ударов молнии на территории исследуемого объекта. Такое решение наиболее целесообразно применять для энергообъектов (ЛЭП, открытых распределительных устройств), а также высотных сооружений (теле-, радиовышек, вышек сотовой связи) для определения потенциальных мест ударов молнии («метод катящейся сферы»). Однако следует отметить трудоемкость расчета.

При оборудовании объекта системой молниезащиты удар молнии будет принят, а ток молнии отведен в землю. В этом случае не произойдет никаких разрушений или повреждений строительных конструкций, люди, находящиеся в здании, получают звуковой или электромагнитный шок. Если молниезащита не предусмотрена, ток молнии устремится в наружные и внутренние стены и/или опорные конструкции. Это, в свою очередь, вызовет нагрев конструкций (термическое воздействие молнии) и, как правило, последующее возгорание (при наличии сгораемого материала). Кроме этого, конструкции могут расколоться (механическое воздействие), треснуть из-за резкого газо- и/или парообразования в некоторых материалах, а отлетевшие куски могут причинить людям травмы и увечья.

Известно, что степень тяжести травм и увечий зависит от силы тока молнии. На основании статистики несчастных случаев установлено: даже если всего лишь малая часть тока молнии попадет на человека, исход – смертельный. Официальным значением силы тока, являющимся смертельным для человека, считается сила тока в 0,1 А.

Энергия и заряд молнии в момент прямого ее удара по объекту определяется по формулам [42]:

$$W = U \cdot Q; \quad (1.1)$$

$$Q = \int_0^{\infty} i dt, \quad (1.2)$$

где U – потенциал молнии, кВ;

Q – заряд молнии, Кл;

i – сила тока молнии, А;

t – время действия молнии, с.

Воздействие атмосферных перенапряжений (молнии) на здания и сооружения приводит к следующим эффектам:

- термическим (нагрев, плавление, обугливание, возгорание);
- механическим (разрушения, повреждения);
- электродинамическим (возникновение индукционного тока);
- электромагнитным (электромагнитная индукция в приемниках электрической энергии).

Основными характеристиками молнии считаются уровень тока, который достигает в среднем 25 кА, температура 10 000–15 000 °С и напряжение (сотни киловольт).

ТНПА установлен дифференцированный подход к выполнению молниезащиты, согласно которому объекты разделены на группы (категории), отличающиеся по тяжести возможных последствий от атмосферных перенапряжений. При этом различают внешнюю молниезащиту объектов – защиту от прямого удара молнии и внутреннюю – защиту от импульсных перенапряжений и помех в электрических сетях с номинальным напряжением до 1 000 В.

Средства внешней молниезащиты в большинстве случаев устанавливаются на самом защищаемом объекте. Возможна установка внешней молниезащиты и отдельно от защищаемого объекта, чтобы термическое действие тока в точке удара молнии или в молниевыводке не могло его повредить. В первую очередь это касается строительных объектов и инженерных коммуникаций, которые имеют в наличии взрывоопасные классы зон согласно классификации зон ПУЭ. Также следует отметить, что внешняя молниезащита должна быть спроектирована и исполнена таким образом, чтобы не возникало опасное искрение при пробое с молниевывода на защищаемый объект, то есть необходимо:

- применение соответствующей изоляции;
- соблюдение безопасных расстояний;

– устройство электрических связей с металлической арматурой.

Что же касается конструкции внешней молниезащиты, то она состоит из молниевывода, токовывода и заземлителя. На практике допускается и единая конструкция молниезащиты, например, для здания животноводческой фермы. Это металлическая мачта, представляющая собой молниеприемник, токовывод и заземлитель одновременно. Молниеприемники бывают следующих видов:

- стержневые (вертикальные);
- тросовые (натянутые горизонтально);
- сетки, состоящие из продольных и поперечных электродов, соединенных в местах пересечения.

Молниевывод и токовывод предназначены для приема удара молнии и отвода тока молнии к заземлению. Эти проводники электрического тока должны быть выполнены из антикоррозионных материалов. Объясняется это тем, что система молниезащиты должна иметь минимальное постоянное электрическое сопротивление по отношению к электрическому сопротивлению частей защищаемого объекта. В противном случае (при коррозии или механических повреждениях системы молниезащиты и/или их отсутствии) удар молнии придется в участок объекта с меньшим электрическим сопротивлением. На практике известны случаи ударов молнии в железобетонные элементы строительных конструкций, в частности, в места, где скапливается внутри бетона влага, что увеличивает электрическую проводимость строительного материала.

Молниевыводы прокладываются или устанавливаются по кровлям различной сложности. Токовыводы монтируются по скатам кровли и стенам для соединения молниеприемной части с заземляющим устройством и включают специальные элементы ввода в землю. Молниевыводы, токовыводы крепятся на кровле, стенах и строительных конструкциях зданий различными специальными держателями. Применение самодельных держателей недопустимо. Токовывод нельзя прокладывать по сгораемым поверхностям. При прокладке молниеприемников и токовыводов необходимо соблюдать безопасные расстояния до сгораемых конструкций (минимальное расстояние – 100 мм).

Для токовывода рекомендуется использовать оцинкованную стальную или алюминиевую проволоку диаметром не менее 8 мм. В качестве токовывода можно также использовать металлические

части объекта, например, водопроводные трубы, арматуру, водосточные трубы, водосточные желоба (проектные токоотводы объекта). Толщина металла и надежность электрического соединения жестко регламентируются международными требованиями.

Заземлитель (заземление) предназначен для обеспечения безопасных режимов работы электроустановки, распределения части энергии молнии в земле. Заземлители различного типа и исполнения комплектуются круглыми или плоскими заземляющими проводниками, составными заземляющими стержнями, болтовыми соединителями, клеммами, антикоррозионным бандажом.

Защита от прямых ударов молнии – одна из первых прикладных разработок в области электротехники. Разработка молниеотвода в XVIII в. Б. Франклином реализовала идею о преимущественном перекрытии искровым разрядом более короткого воздушного промежутка, который возникает между электрически заряженным грозовым облаком и поверхностью земли. Его длина, как правило, несколько километров. Наземные сооружения сокращают промежуток, поэтому многие молнии направляются именно к ним. Чем выше сооружение, тем больше молний оно собирает, и потому для надежной защиты молниеотвод должен заметно превышать защищаемый объект. К этому следует добавить, что объект считается защищенным, если он целиком размещен в объеме зоны защиты молниеотвода (одного или нескольких). Как правило, зона защиты одиночного стержневого молниеотвода представляется как коническая поверхность. Даже самый высокий молниеотвод не может обеспечить идеальную молниезащиту объекта. При этом учитывается, что для одиночного стержневого молниеотвода высотой 30 м радиус зоны защиты объекта с надежностью 0,9 на уровне земли равен примерно его полуторной высоте, то есть 45 м. Применение нескольких молниеотводов заметно расширяет зону защиты.

До ноября 2011 г. на территории Республики Беларусь защита зданий и сооружений от атмосферного электричества при использовании стержневых и тросовых молниеотводов делилась на 3 категории молниезащиты (I, II, III) и 2 типа зон защиты (А и Б). Ис-

пользуя комбинации категорий и типов зон, инструкцией [31] регламентировалось 5 вариантов устройства молниезащиты – IA, IIА, IIБ, IIIА, IIIБ (рис. 1.6).

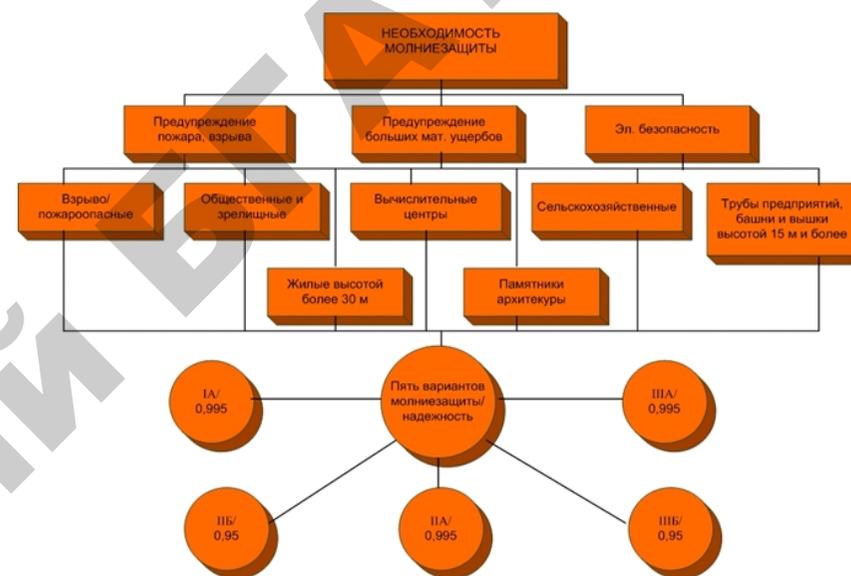


Рис. 1.6. Определение необходимости молниезащиты зданий и сооружений по РД 34.21.122-87

При использовании РД 34.21.122-87 существовал ряд условностей и двузначных трактовок отдельных положений этого нормативного документа. Ярким примером этого служит толкование молниезащиты небольших строений в сельской местности.

Переработка требований по устройству молниезащиты в республике и введение в действие ТКП 336-2011 (с отменой РД 34.21.122-87), в том числе для объектов АПК, должна была проходить с учетом результатов отечественных и международных исследований.

В действующих сегодня требованиях ТКП 336-2011 учтен международный опыт по молниезащите [21–24], основанный на многолетних наблюдениях и исследованиях ведущих мировых организаций.

В соответствии с требованиями ТКП 336-201 вместо категорий молниезащиты используются уровни молниезащиты I, II, III и IV с надежностью защиты от прямых ударов молнии 0,98; 0,95; 0,90 и 0,80 соответственно (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Уровни молниезащиты зданий и сооружений

Уровень защиты	Требуемая надежность (устойчивость функционирования молниезащиты)
I	0,99
II	0,97
III	0,91
IV	0,84

Выбор требуемого уровня молниезащиты основан на приемлемой частоте N_c ударов молнии, приводящих к опасным последствиям, данных об ожидаемой частоте ударов молнии в объект защиты N_d :

$$E = I - N_c / N_d. \quad (1.4)$$

Величина приемлемой частоты удара молнии определяется на основании функционального назначения здания и сооружения, строительных конструкций, взрывопожарной опасности, принятых защитных мер, количества людей, для которых может возникнуть определенная опасность при поражении молнией объекта, ценности товаров и материалов, для которых существует угроза повреждения, и др. факторов.

Среднегодовая частота N_d прямых ударов молнии в течение года в сооружение определяется по формуле

$$N_d = N_g A_e 10^{-6}, \quad (1.5)$$

где N_g – среднегодовое число грозных разрядов на 1 км² в течение года в месте размещения объекта защиты;

A_e – эквивалентная площадь сооружения, м².

N_g оценивается по формуле

$$N_g = 0,04 T_d^{1,25}, \quad (1.6)$$

где T_d – число грозных дней в году, определяемое по картам грозной активности.

Для устройства наружной и внутренней систем молниезащиты определяется полный и обязательный набор требований к инженерному исполнению ее элементов, включая параметры для расчета молниеприемников, материал и минимальные сечения элементов сооружаемых и естественных молниеприемников, токоотводов, избирательным параметрам устройств защиты от перенапряжений и т. д.

Неотъемлемой частью требований ТКП 336-2011 считается использование «зональной концепции защиты» (Lightning Protection Systems) с разделением защищаемого объекта и его внутреннего инженерного наполнения на защитные зоны [24]. При этом молниезащита объекта подразделяется на следующие зоны: 0_A, 0_B, 1, 2, 3, 4. Чем выше номер зоны, тем выше требования к значениям допустимых уровней молниезащиты.

Зона 0_A – зона внешней среды объекта, точки которой подвергаются непосредственному риску воздействия от прямого удара молнии, а также импульсного электромагнитного поля, вызванного пиковыми токами молнии.

Зона 0_B – зона внешней среды объекта, точки которой подвергаются импульсному воздействию электромагнитного поля, вызванного током молнии в зоне 0_A.

В зоне 1 необходима защита от воздействия импульсного электромагнитного поля, которое чаще всего создают соединенные между собой токопроводящие элементы конструкций зданий и сооружений.

Последующие зоны используются для дальнейшего снижения разрядных токов или электромагнитного поля и требуют более надежных защитных мер; применяются для защиты информационного и другого оборудования, чувствительного к импульсным перенапряжениям.

По аналогии с требованиями [21–24] разработаны и введены в действие на территории России и Украины национальные стандарты [47–48]. Международный стандарт [21–24] используется в Польше,

Литве и Эстонии как национальный стандарт по требованиям к устройству молниезащиты для зданий и сооружений. Общие подходы к определению молниезащиты зданий и сооружений по требованиям Международной электротехнической комиссии, действующим в республике, приведены на рис. 1.7.

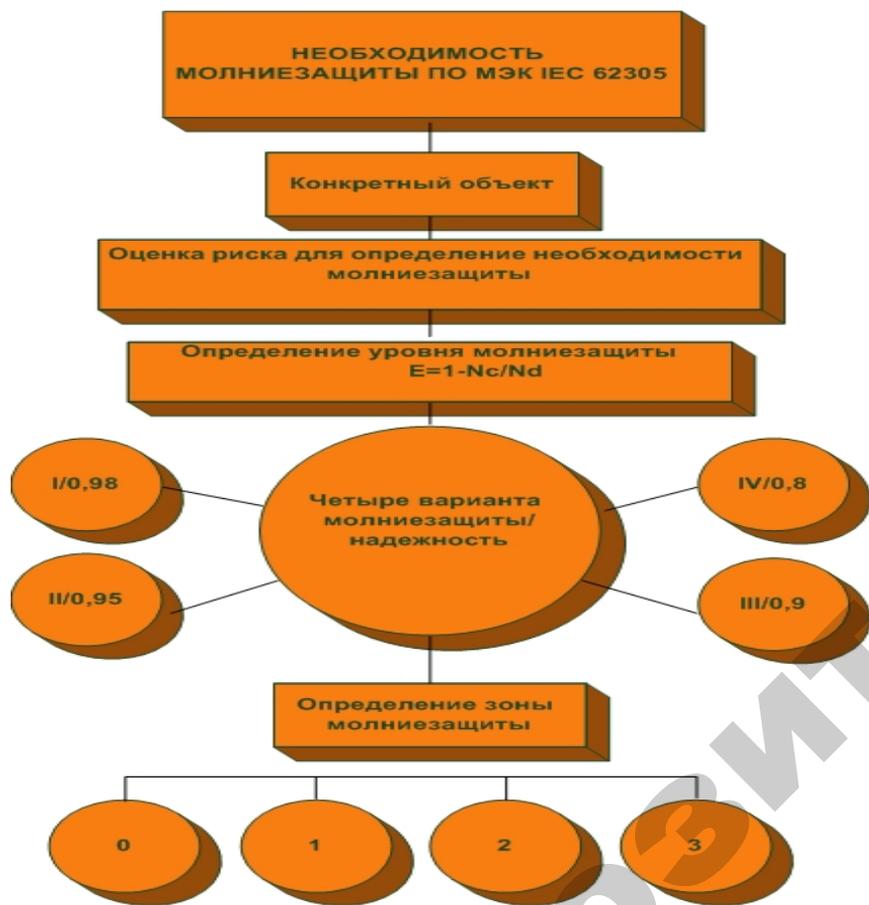


Рис. 1.7. Определение необходимости молниезащиты по требованиям МЭК IEC 62305

Согласно этим требованиям [21–24], защита потенциально опасных объектов основана на правиле: наиболее опасный объект должен иметь наиболее сложную систему защиты. Места удара молнии

в объект определяются путем моделирования: точка удара молнии – это место расположения молниеприемников, определенное по методу «катящейся сферы». Радиусы «катящейся сферы» равны 20, 30, 45 и 60 м для I, II, III и IV уровней молниезащиты соответственно. Угол защиты и высота молниеприемников определяются набором эмпирических зависимостей (рис. 1.8) [21; 23].

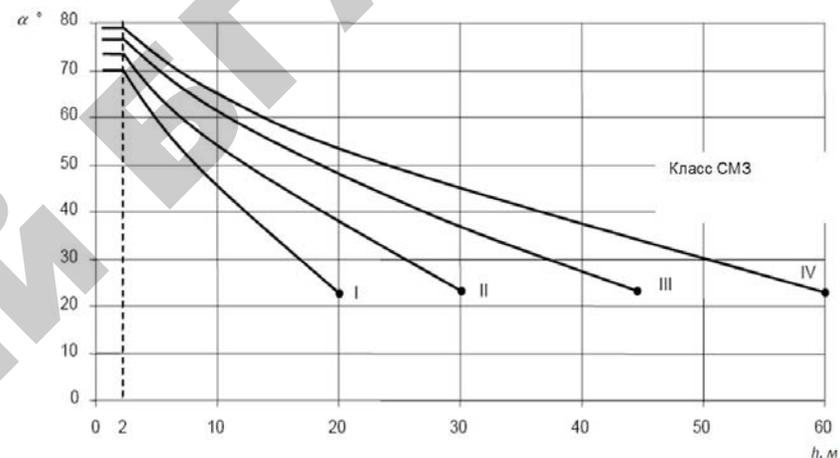


Рис. 1.8. Определение защитного угла и высоты молниеприемника по МЭК IEC 62305

Принципиальным отличием рассматриваемых выше требований [21–24] от действовавших [31] является определение высоты молниеприемника, значение которой принимается в зависимости от высоты защищаемой поверхности. На рис. 1.9 показан пример защиты рядом расположенных объектов. Очевидно, что при использовании электрогеометрического метода по [23, 27] для защиты объекта требуются 2 молниеприемника разной высоты. При этом выстраивается более сложная система защиты стержневыми молниеприемниками, обеспечивается более развитая система молниезащиты. На рис. 1.9, а видно, что до отмены требований [31] молниезащита для двух объектов могла быть обеспечена одним молниеприемником на расстоянии, равном защищаемой поверхности на уровне земли (r_0). Следует отметить, что высота молниеотвода складывалась из высоты объекта $h_{об}$ и высоты молниеприемника самого молниеотвода, по величинам

которых строилась зона защиты. В некоторых случаях это приводило к необоснованно высоким затратам на материалоемкость молниезащиты.

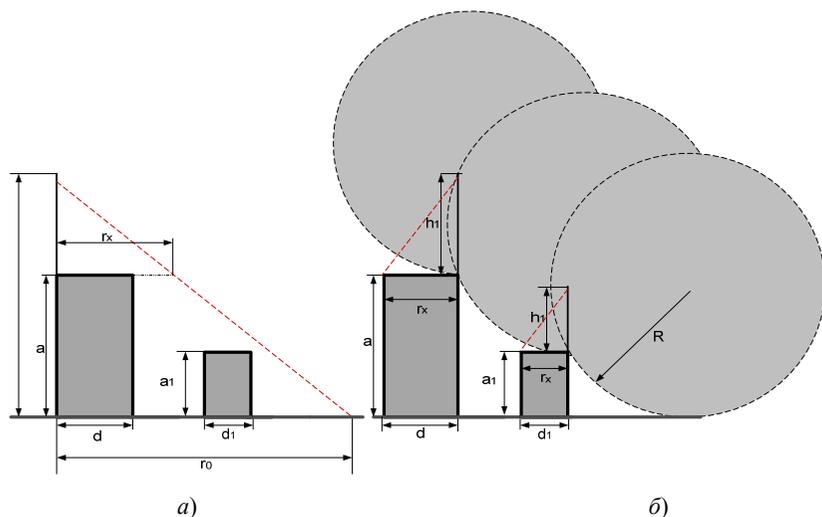


Рис. 1.9. Сравнительный анализ применения требований к молниезащите наземных объектов:

h – высота молниеприемника по РД 34.21.122-87; h_1 – высота молниеприемника по МЭК; a , a_1 – высота объектов; d , d_1 – длина объектов; r_x – зона молниезащиты на уровне объекта; r_0 – зона молниезащиты на уровне земли; R – радиус «катящейся сферы»

А при подсчете числа поражений нисходящими молниями рекомендуется определять ожидаемое количество ударов молнии в объект по площади стягивания:

$$N = \pi R^2 n, \quad (1.7)$$

где $R = 3h$ – радиус стягивания;

h – высота объекта;

n – среднегодовое число ударов молнии на 1 км^2 земной поверхности;

π – постоянная величина, равная 3,14.

В случае, когда возвышающийся объект не превышает более чем на 25 м среднюю высоту окружающих его объектов в радиусе 400 м, устройства молниезащиты не требуется [31]. Ожидаемое количество

ударов молнии в объект в зависимости от влияния на нее ближнего окружения рассчитывается по формуле

$$N = C_d S_{att} n, \quad (1.8)$$

где C_d – коэффициент, учитывающий влияние среды;

S_{att} – площадь стягивания (стандарт также использует эмпирическое соотношение $R_{att} = 3h$);

n – удельная плотность ударов молнии (определяется автоматизированной системой по конкретной местности).

При этом $C_d = 1$ для уединенного объекта на ровной поверхности, $C_d = 0,5; 0,25$, если объект окружен менее или более высокими объектами.

По результатам анализа статистических данных о пожарах, вызванных грозовыми проявлениями, при пожарно-технических обследованиях объектов АПК сложилось мнение, что требования ТНПА к молниезащите с нормируемой надежностью защиты «работают» на стадии проектирования объекта. В подтверждение этому можно привести информацию о пожаре, произошедшем в 2009 г. в Житковичском районе Гомельской области в здании телятника товарной фермы в деревне Кольно (КСУП «Коленское»). При изучении проектной документации на молниезащиту здания телятника было установлено, что конструкция крепления молниезащиты к элементам кровли здания (шиферному покрытию) не жестко связана, молниеприемники в нарушение требований были демонтированы. Объект пожара (товарная ферма) представлял собой П-образное одноэтажное здание VIII степени огнестойкости высотой 4,5 м (до конька). Телятник был рассчитан на одновременное размещение 250 телят (в момент возникновения пожара там находилось 242 теленка). Молниезащита выполнена стержневыми молниеотводами (арматура диаметром 14 мм), установленными на коньке здания (по 3 молниеотвода на восточном и западном крыле). Стержневые молниеотводы имели высоту 9,5 м и располагались на расстоянии 17 м от торцов здания и друг от друга. Токоотводы и заземлители были выполнены металлическим стержнем диаметром 7 мм.

В результате пожара уничтожены кровля восточного крыла телятника на площади 700 м^2 и кровля над переходной галереей на

площади 410 м² (общая площадь пожара составила 1 110 м²), погибло 46 телят в возрасте до 6 месяцев (рис. 1.10–1.11).

Было установлено, что причиной пожара явился прямой удар молнии в крайний молниеотвод, защищавший восточное крыло телятника (рис. 1.12).



Рис. 1.10. Восточное крыло



Рис. 1.11. Переходная галерея



Рис. 1.12. Оплавления, характерные для непосредственного контакта канала молнии с молниеотводом

Исследования причин и условий, приведших к возникновению пожара на объекте, показали:

- часть кровли телятника, а также переходная галерея не попадали в зону защиты молниеотводов (проверочный расчет зон защиты производился по приложению 3 РД 4.21.122-87 с учетом типа зоны защиты, выбираемой в соответствии с назначением здания);

- диаметр и конструкция заземлителей не соответствовали предъявляемым требованиям. Заземлители были выполнены из металлического стержня диаметром 7 мм (согласно РД 4.21.122-87 требуется диаметр 10 мм) и представляли собой моток проволоки, закопанный в землю на глубину до 70 см (рис. 1.13). Согласно п. 2.2. РД 4.21.122-87 заземлители должны быть выполнены минимум из двух вертикальных электродов длиной не менее 3 м, объединенных горизонтальным электродом длиной не менее 5 м. Последнее контрольное пожарно-техническое обследование ПТО проводилось в 2008 г. На момент возникновения пожара мероприятия по устройству молниезащиты переходной галереи не были выполнены.



Рис. 1.13. Заземлитель молниеотвода

Анализ пожара, произошедшего в 2010 г. на сырьевом складе Березинского филиала ОАО «Воложинский льнокомбинат», показал, что сооружение шохи, в которую попал удар молнии, представляло собой навес с железобетонными колоннами, металлическими фермами и металлическим настилом, без стеновых панелей. Здание не было электрифицировано. Молниезащита осуществлялась пятью отдельно стоящими молниеотводами высотой 15 м.

Металлические молниеприемники были установлены на железобетонное основание.

При изучении причин возникновения пожара было установлено, что на молниеотводе, расположенном в левой части северной стороны шохи, отсутствовал токоотвод, а токоотвод молниеотвода, находившегося в правой части северной стороны шохи, был поврежден (рис. 1.14). Проведенный проверочный расчет показал, что сооружение шохи входило в зоны защиты установленных по ее периметру молниеотводов.



Рис. 1.14. Внешний вид неисправных молниеотводов на сырьевом складе Березинского филиала ОАО «Воложинский льнокомбинат»

Причина пожара в 2008 г. на территории нефтебазы РУП «Белоруснефть-Брестоблнефтепродукт» концерна «Белнефтехим» – прямой удар молнии. Молниезащита резервуаров нефтебазы была выполнена по II категории (тип зоны защиты Б) согласно РД 34.21.122-87. В соответствии с требованиями для взрывоопасных зон класса В-1г для наружных установок, содержащих нефтепродукты (ПУЭ п. 7.3.43, п. 7.3.44), молниеприемники установлены по периметру резервуаров, находились в исправном состоянии, о чем свидетельствует технический отчет по результатам электрофизических измерений, выполненный в 2007 г. УП «Брестпромналадка». Нормативной документации молниезащита резервуаров соответствовала. Тип молниеприемников на резервуаре – штыревые в количестве 3 шт. Диаметр молниеприемников составляет не менее 100 мм, высота – 6 м. Материал молниеприемников – сталь; молниеприемники приварены

к верхней части РВС-1000. Заземление выполнено присоединением стенки резервуара болтовым/сварным соединением к контуру заземления. Основными причинами возникновения пожара от удара молнии могли послужить: неисправность молниезащиты, образование взрывоопасных паров ЛВЖ, параметры источника зажигания (сила тока, температура канала молнии).

Открытое горение цеха по производству топливных брикетов имело место на территории унитарного предприятия «Ульянис» (Россонский район Витебской области). Причина пожара – удар молнии. При изучении проектной документации здания было установлено, что молниезащита, выполненная согласно РД 34.21.122-87 (на момент возникновения пожара действовал ТКП 336-2011), смонтирована отдельным молниеотводом на дымовой трубе, расположенной выше верхней отметки здания цеха. Удар молнии пришелся в кровлю здания, о чем свидетельствовали наибольшие термические повреждения строительных конструкций: прогорание и обрушение настила кровли, а также максимальное выгорание хранящихся материалов. Проведенный проверочный расчет показал, что здание не полностью входило в зону защиты установленного молниеотвода. Также был выявлен факт отсутствия обязательных требований в технических нормативных правовых актах (далее – ТНПА) по эксплуатации устройств молниезащиты на сенокладах, указаний по необходимому перечню документации по молниезащите на объекте. Не было введено в практику проведение периодических и профилактических осмотров молниеотводов. Также было установлено, что во время грозового сезона ряд устройств молниезащиты приводились в нерабочее состояние по причине сильных ветров, контактов с каналом тока молнии и т. д.

Следует также отметить, что все молниеотводы испытывают различного рода деформации, вызываемые их конструктивными особенностями, природными условиями и деятельностью человека. С целью изучения конструкции молниеотводов, способов защиты зданий и сооружений от прямых ударов молнии и ее вторичных проявлений был проведен патентный поиск [49–75]. Рассмотрены и проанализированы различные технические решения устройства молниеотводов – в виде грозозащитного троса, с корпусом, заполненным диэлектриком [49–50], и др. Все это позволило определить основные пути совершенствования конструкций молниеотводов

и выделить технические решения, представляющие наибольший интерес. Так, конструкция молниеотвода [52], предложенного авторами П.П. Ивасюком и И.Г. Вдовиченко, представляет собой центральный стержень-молниеприемник 1, боковые стержни-молниеприемники 2 и стержень-заземлитель 9 (рис. 1.15). Центральный и боковые стержни-молниеприемники прикреплены к аэростату 5. Заземление центрального и боковых стержней-молниеприемников происходит путем их присоединения к стержню-заземлителю через привязной заземляющий трос 7.

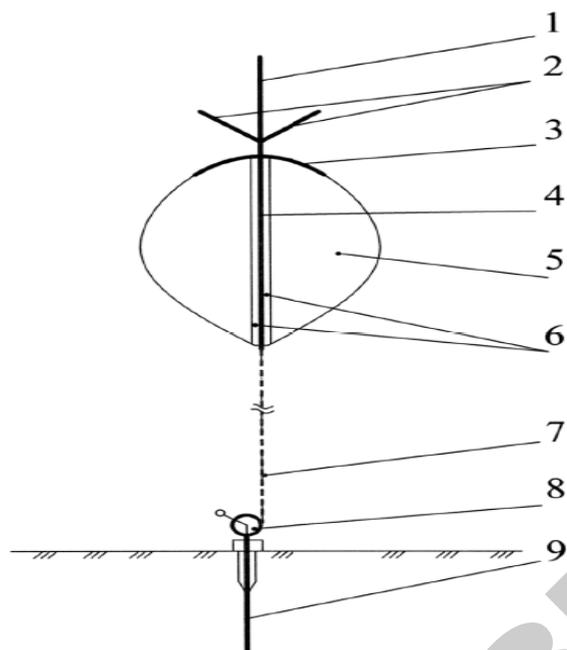


Рис. 1.15. Молниеотвод с элементами воздушного шара:
1 – центральный стержень-молниеприемник; 2 – боковые стержни-молниеприемники; 3 – опорная полусфера; 4 – центральный стержень; 5 – аэростат; 6 – цилиндрическая полость аэростата; 7 – привязной заземляющий трос; 8 – устройство с лебедкой для удерживания аэростата; 9 – стержень-заземлитель

Предложенный способ молниезащиты относится к средствам молниезащиты зданий и сооружений. Он позволяет упрощать сложные конструкции молниеотводов на больших высотах, сни-

жать материалоемкость при их изготовлении. При помощи устройства с лебедкой для удерживания реостата 8 предусматривается возможность подъема молниеотвода на различные высоты. В качестве недостатка конструкции анализируемого молниеотвода можно отметить отсутствие фиксации молниеотвода относительно предполагаемой его зоны защиты. Так, грозовые проявления сопровождаются шквальным ветром, что будет отклонять молниеотвод от объектов защиты. Отклонение же молниеотвода от его установленной оси защиты повышает вероятность удара молнии в защищаемый объект.

Для защиты от прямых ударов молнии объектов различного назначения предлагается устройство [53], содержащее стержневой молниеотвод 1 и заземлитель 5 (рис. 1.16).

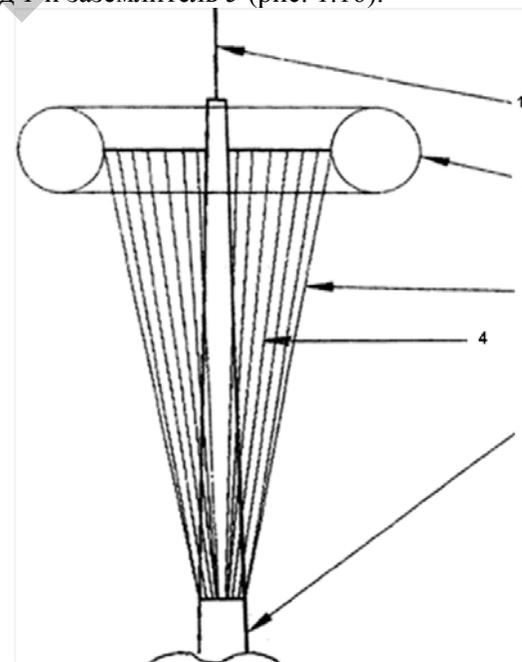


Рис. 1.16. Устройство защиты от прямого удара молнии:
1 – стержневой молниеотвод; 2 – дополнительная экранирующая оболочка; 3 – экранирующая оболочка; 4 – металлические проводники; 5 – заземлитель

Молниеотвод состоит из металлической мачты и стержневого молниеприемника. При этом металлическая мачта выполнена в ви-

де конуса с радиусом сечения, уменьшающимся от ее основания к вершине. Металлическая мачта размещена внутри экранирующей оболочки 3, состоящей из набора тонких металлических проводников, установленных с равным шагом 4. Радиус окружности, по которой установлены проводники, нарастает от основания оболочки к ее вершине. Верхние концы проводников закреплены в верхней части металлической мачты посредством фланцевого соединения, расположенного на дополнительной экранирующей оболочке 2. Фланцевое соединение размещено внутри торообразного электростатического экрана. Стержневой молниеприемник и металлическая мачта жестко закреплены соответственно в центре металлической мачты и на фундаменте. Нижняя часть металлической мачты установлена в емкость с водой, а заземлитель выполнен в виде многолучевой конструкции, сообщенной с емкостью с водой и изготовленной из труб с дренажными отверстиями, позволяющими производить капельный полив грунта. Как положительный момент можно отметить исключение искрообразования в зоне горючих и взрывоопасных газовых выбросов при одновременном снижении ветровых нагрузок на конструкцию. Также следует отметить, что оптимальный прием удара молнии обеспечивается через металлическую конусообразную форму молниеотвода. Экранирующая оболочка в виде тонких металлических проводников, установленных с равным шагом по длине молниеотвода, исключает искрообразование от мачты молниеотвода 3. Количество металлических проводников в экранирующей оболочке рассчитывается при помощи специально разработанного программного обеспечения. Например, при требуемой высоте молниеотвода 30 м количество металлических проводников экранирующей оболочки должно быть не менее 50 шт. (при возможности размещаются они на окружности вокруг мачты молниеотвода радиусом 0,4–0,8 м).

Положительным моментом конструкции можно считать возможность использования молниеотвода во взрывоопасных и пожароопасных зонах технологических выбросов горючих и взрывоопасных смесей. Молниеотвод также является устойчивым к ветровым нагрузкам. К недостаткам его конструкции можно отнести большую материалоемкость, а также длительный процесс монтажа.

Известна конструкция сетчатого молниеотвода [54]. Техническим результатом конструкции является эффективная защита людей, оборудования и строительной техники от поражения разрядами молнии в районах с повышенной грозовой активностью. В сетчатом молние-

отводе (рис. 1.17) молниеприемник выполнен в виде мелкоячеистой сетки с размером ячейки 1×1 м из токопроводящих тросов 1 диаметром не менее 6 мм, подвешенной на четырех опорах 2 высотой 35–50 м. Каждый из токопроводящих спусков выполнен из гибкого троса с проводимостью, равной проводимости грозозащитного троса. При этом токоотводящий спуск одновременно служит для подъема сетки на необходимую высоту. Для этого каждый трос переброшен через установленный на вершине каждой опоры усиленный стальной блок с вращающимся роликом 4. Соединения в узлах сетки и соединения токоотводящего спуска с сеткой и заземлителем выполнены болтовыми, токопроводящими накладками для повышения проводимости 6.

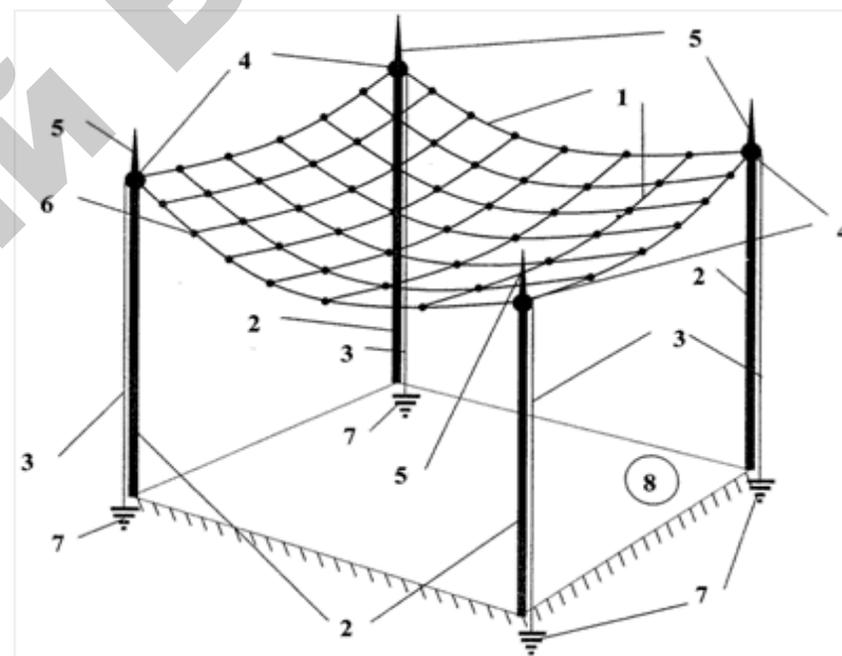


Рис. 1.17. Сетчатый молниеотвод:

1 – молниеприемник; 2 – опора; 3 – токопроводящие спуски; 4 – блоки с вращающимися роликами; 5 – стержневые молниеотводы; 6 – токопроводящая накладка с болтовым соединением; 7 – заземлители

Достоинством сетчатого молниеприемника является обеспечение защиты не только внутри здания, но и всего, что находится вне его, например, стоящие вблизи наружная установка либо сооружение. Недостатком сетчатого молниеприемника, на наш взгляд, яв-

ляется большая материалоемкость, высокие затраты на технические и людские ресурсы для его производства и монтажа.

Регистрация патента на конструкцию следующего молниеотвода [56] относится к 1877 г. Предлагаемый молниеотвод представляет собой молниеприемники, пересекающиеся под различными углами (рис. 1.18). В центре пересекающихся кругов размещен шар из стекла. Материалы пересекающихся кругов выполнены из серебряных и медных пластин, помещенных так, чтобы их горизонтальные диаметры были под прямым углом. Стекланный шар находится в центре пересекающихся кругов. Предложенный молниеотвод крепится на штангу молниеотвода (изолированную или токопроводящую) путем насаживания, без последующего дополнительного крепления, что способствует надежному приему тока молнии. В случае применения изолированной штанги молниеотвода между токоотводом, молниеприемником и заземлителем выполняются преимущественно болтовые соединения.

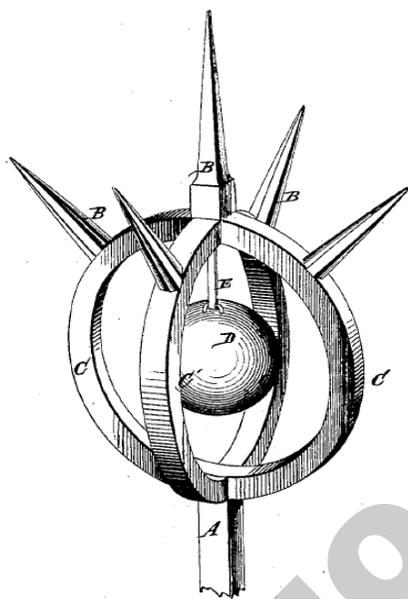


Рис. 1.18. Молниеотвод со стеклянным шаром

Недостатком изобретения является использование дорогостоящих материалов, отсутствие должной фиксации молниеприемника к мачте молниеотвода.

Заслуживает внимания рассмотрение конструкции молниеотвода для защиты электронного оборудования или электрооборудования (рис. 1.19).

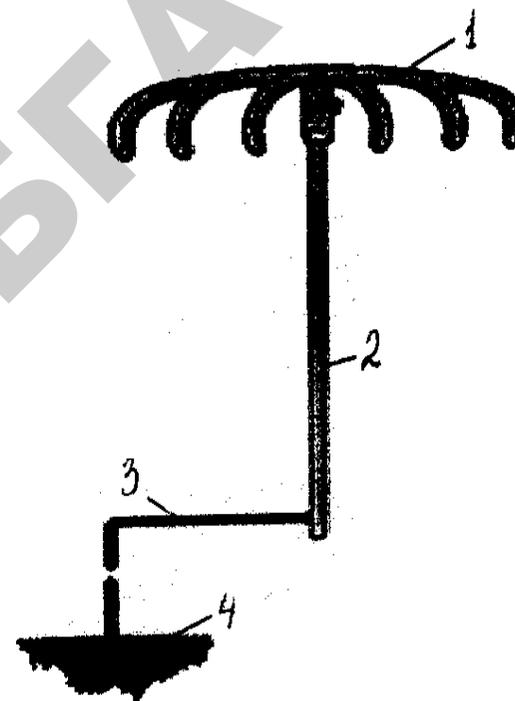


Рис. 1.19. Молниеотвод в виде зонта:

1 – зонтообразная конструкция из токопроводящих проводников; 2 – мачта молниеотвода; 3 – гибкий токоотвод; 4 – кровля

Анализируемое техническое устройство представляет собой зонтообразную конструкцию из токопроводящих проводников 1, расположенных перпендикулярно мачте молниеотвода 2, включает в себя активный элемент. Активный элемент накапливает электрическую энергию и при достижении определенной напряженности электрического поля разряжается в токопроводящих проводниках. При этом существенно увеличивается зона защиты молниеотвода, своеобразный экран из токопроводящих проводников обеспечивает защиту от электромагнитных помех. Мачта молниеотвода является одновременно токоотводом, жестко фиксирующим молниеотвод

к строительным или кровельным конструкциям 4. Допускается к токопроводящей мачте молниеотвода предусматривать гибкий токоотвод 3. Положительным моментом конструкции зонтообразного молниеотвода является его возможность увеличить радиус пространственной молниезащиты объектов и территорий. Вместе с тем такой молниеотвод целесообразнее устраивать на зданиях, так как имеется функция помехозащищенности.

Устройство, показанное на рис. 1.20, может использоваться для защиты вооружения и военной техники, а именно взрывоопасных объектов [58]. Это связано с тем, что традиционные тросовые молниеотводы неспособны в полной мере обеспечить защиту хранимых запасов от воздействия молнии по причине неточности изготовления и монтажа молниезащитного устройства, провисания тросов и их отклонения от расчетного положения в результате воздействия ветра (радиус отклонения достигает 1,7 м). Кроме того, в случае крена опоры молниеприемника (трещин сварных соединений и металла) устранить недостаток без его демонтажа практически невозможно. От раскачивания тросы перетираются, что приводит к снижению их площади поперечного сечения, а их монтаж является сложной технической задачей.

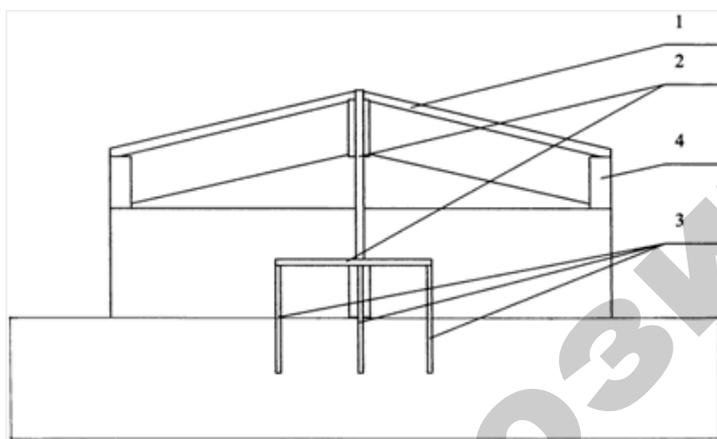


Рис. 1.20. Молниезащитное устройство взрывоопасных объектов:

1 – молниеприемник; 2 – токоотвод; 3 – заземлитель; 4 – токопроводящая опора

По результатам патентного поиска были проанализированы технические решения и способы в области молниезащиты зданий и сооружений, из которых выявлены следующие способы молниезащиты:

- способ молниезащиты промышленных зданий, сооружений и прилегающих территорий [59], согласно которому молниезащиту осуществляют посредством активного молниеотвода, снабженного молниеприемником, сообщенного с системой заземления через генератор импульсного напряжения и внешнюю разрядную цепь. По достижении в атмосферном электрическом поле критического молниеприемного уровня напряженность электрического поля в генераторе молниеотвода под воздействием энергии электрического поля автоматически доводят до порогового уровня, достаточного для осуществления импульсных разрядов, и при формировании в атмосфере лидерной фазы развития молнии, движущейся к защищаемому объекту, автоматически производят с острия молниеприемника разряд в атмосферу встречного лидера молнии. Положительным моментом рассматриваемого способа является обеспечение постоянной молниезащиты без подпитки энергией от техногенного источника, повышение надежности и увеличение радиуса пространственной молниезащиты объектов и территорий. Вместе с тем, проверить увеличение радиуса пространственной молниезащиты, используя этот способ, не представляется возможным;

- способ для предотвращения возникновения пожара от молнии, отличающийся тем, что высота молниеотводов на защищаемой площади должна быть 40 м и более от земли, а расстояние между установленными молниеотводами – в пределах 3–5 км друг от друга во всех направлениях [68];

- способ защиты объекта от прямого поражения и проникновения в него шаровой молнии, включающий операцию создания эколого-защищаемого объекта неоднородного электрического поля [70];

- способ защиты от разрядов атмосферного электричества путем улавливания и нейтрализации с использованием ультрафиолетового лазера [71];

- способ защиты объекта от линейных, четочных и шаровых молний [72];

- способ, когда в качестве молниеприемника используется вертикальная токопроводящая изолированная от земли труба, внутрь которой вставлен диэлектрический стакан так, чтобы верхняя часть трубы возвышалась над краями стакана. При этом на внутреннюю

поверхность стенок стакана нанесено заземленное токопроводящее покрытие [73] и др.

Проведенный патентный поиск технических устройств и способов в области молниезащиты, изучения грозовых проявлений [49–75] показал, что разработки преимущественно направлены на обеспечение надежной электрической связи, инициацию раннего стримера, безопасный прием молнии и в меньшей степени уделяется внимание обеспечению устойчивости функционирования молниеотводов при воздействии на них внешних природных факторов.

Статистические данные по пожарам, а также проведенный анализ условий эксплуатации молниезащиты животноводческих ферм и комплексов позволили обозначить факторы, негативно влияющие на работоспособность молниезащиты рассматриваемых сооружений. Также установлено, что пожарная опасность складов нефти и нефтепродуктов при воздействии на них грозовых проявлений обусловлена во многих случаях несоблюдением требований безопасной эксплуатации молниезащиты.

Что же касается вопросов организации и осуществления контроля за молниезащитой зданий и сооружений, то в отличие от принятых в республике категорий молниезащиты, международные требования рекомендуют определять уровни молниезащиты, при этом категория молниезащиты регламентирует минимальный необходимый набор требований в зависимости от объекта защиты, а уровень молниезащиты по МЭК – набор требований как ко всему инженерному исполнению элементов внешней и внутренней молниезащиты, так и типу объекта. Следует к этому добавить, что в отличие от отечественной концепции в части расчета зон молниезащиты согласно международному стандарту предлагается определять зоны молниезащиты электрогеометрическим методом, который возможен и для использования при проектировании и устройстве молниезащиты кровель больших площадей и со сложной архитектурой.

Таким образом, проведенный анализ пожаров, вызванных грозовыми проявлениями, условий эксплуатации молниезащиты, требований действующих ТНПА позволяет сделать вывод о необходимости выработки более действенных мер по снижению влияния грозовых проявлений на объекты АПК, направленных на повышение эффективности эксплуатации и работоспособности молниезащиты.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛНИЕЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ АПК

2.1. Теоретическое обоснование размещения элементов молниезащиты

Проведенный анализ литературных источников, статистики пожаров в сельской местности показал, что размещение молниеотводов на агропромышленных объектах существенно снижает грозопоражаемость зданий и сооружений.

Очевидно, что организовать молниезащиту можно несколькими различными способами: она может быть выполнена с помощью одного молниеотвода большой высоты или с помощью нескольких (более низких) молниеотводов [76–79]. В качестве критерия выбора способа молниезащиты объекта целесообразно использовать себестоимость сооружения молниезащиты Q , которая складывается из общей стоимости использованных материалов $C_{\text{мат}}$ и стоимости производства, или устройства молниезащиты $C_{\text{пр}}$:

$$Q = C_{\text{мат}} + C_{\text{пр}}. \quad (2.1)$$

Стоимость материалов может быть определена исходя из заготовительной массы материалов, а себестоимость сооружения, а, следовательно, и себестоимость молниезащиты, – с учетом уровня организации, технологических и архитектурных особенностей агропроизводства. Для сравнения различных вариантов молниезащиты рекомендуется определить стоимость молниеотвода:

$$C_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} \cdot h^2, \quad (2.2)$$

где $k_{\text{пр}}$ – показатель трудоемкости работ (зависит от сложности архитектуры кровли, ее площади, работы на высоте и т. д.);

h – высота молниеотвода.

Принимаем, что себестоимость устройства молниезащиты зависит от h , а также от устойчивости объекта к поражению его молнией, которая будет определена стоимостью проекта ($C_{\text{мп}}$ – определяется сметами) и непосредственно стоимостью монтажа молниезащиты согласно проекту ($C_{\text{мз}}$) и характеризоваться комплексным показателем улучшения молниезащиты (зависимость которого определена

экспериментом по коэффициенту защиты молниеотвода K_3 , коэффициенту сопротивления заземлителя K_c и диаметру сечения молниеприемника d_m .

В таком случае оптимизационную модель стоимости системы молниезащиты можно записать в следующем виде:

$$Q = \left(\sum_{i=1}^n ((C_{MT_i} + C_{np}) + (C_{мп} + C_{мз})) \right) \cdot n \cdot ky \rightarrow \min, \quad (2.3)$$

при выполнении следующих ограничений:

$$\begin{cases} h_i^{\min} \leq h_i \leq h_i^{\max}; i = 1, \bar{n}; \\ h_{\min} \leq n \leq n_{\max}; \\ P(n, h) \leq P_{\min}, \end{cases} \quad (2.4)$$

где n – число молниеотводов ($n_{\min} = 1$, n_{\max} – определяется в соответствии с геометрией объекта при выполнении следующих условий: расстояние между молниеотводами не должно превышать значения $5h_{\min}$; расстояние от молниеотвода до объекта должно быть не менее 3 м);

h – высота молниеотвода (h_{\min} – минимальная высота молниеотвода определяется в соответствии с высотой защищаемого объекта, h_{\max} – максимальная высота молниеотвода 30 м).

$ky = 1 - Y$ – комплексный показатель улучшения молниезащиты, зависит от параметра Y – устойчивости объекта от воздействия грозовых разрядов (поражение его молнией):

$$Y = 1 - \frac{n_n}{N_{пор}}, \quad (2.5)$$

где n_n – возникающие пожары на объекте;

$N_{пор}$ – общее количество грозопоражений;

$ky \rightarrow \min$ при $Y \rightarrow 1$ – себестоимость устройства молниезащиты снижается;

$ky \rightarrow \max$ при $Y \rightarrow 0$ – себестоимость устройства молниезащиты повышается.

Для определения приведенных затрат на эксплуатацию молниезащиты воспользуемся следующим выражением:

$$C_3 = C_0 + C_p, \quad (2.6)$$

где C_0 – стоимость осмотров молниезащиты (руб./год);

C_p – стоимость ремонтов молниезащиты (руб./год). Принимаем $C < Q$.

В общем случае стоимость молниезащиты для объекта рассчитывается по формуле

$$C = Q + C_3 = \left(\sum_{i=1}^n ((C_{MT_i} + C_{np}) + (C_{мп} + C_{мз})) \right) \cdot n \cdot ky + C_0 + C_p \rightarrow \min. \quad (2.7)$$

В соответствии с требованиями ТКП 336-2011 плотность поражений молнией N_g равна:

$$N_g = 0,1T_d, \quad (2.8)$$

где T_d – количество грозовых дней в году [2].

Очевидно, что наиболее часто молния поражает высокие объекты, но нередко ударяет и в низменные места в зависимости от числа грозовых дней в году, высоты объекта, рельефа местности и др. факторов. На ровных поверхностях молния ударяет в те места, где электрическая проводимость почвы больше (болотистая почва, берега рек, почва с сырой глиной).

Согласно требованиям раздела 6 ТКП 336-2011, необходимость молниезащиты должна определяться для каждого здания или сооружения. Она напрямую зависит от величины рисков:

$R1$ – риск угрозы человеческой жизни;

$R2$ – риск нарушения коммунального обслуживания;

$R3$ – риск потери культурных ценностей;

$R4$ – риск нанесения ущерба экономической ценности.

Риски определяются суммой элементов рисков: при прямом ударе молнии, когда возникает шаговое напряжение, наводки и электромагнитные импульсы (RA, RB, RC); при близком ударе молнии, когда возникают наводки и электромагнитные импульсы (RM); при прямом, близком ударе молнии в коммуникацию, когда возникает шаговое напряжение, взрыв или пожар и т. д. (RU, RV, RW и RZ). Сами элементы рисков вычисляются на основании соответствующих

щих коэффициентов [18]. В общем виде формула для определения элементов рисков следующая [27]:

$$R = N \cdot P \cdot L, \quad (2.9)$$

где N – ежегодное количество опасных случаев;

P – вероятность повреждения от удара молнии;

L – последующий ущерб.

Каждый элемент риска рассчитывается на основании отнесенных к нему факторов элементов рисков, т. е. PA , PB , LA , LB и т. д. Некоторые элементы рисков имеют одинаковые коэффициенты и факторы: например, ND , NL и т. д.

Коэффициенты рисков (rf , rp , hz , Lo , T_d и т. д.) определяются площадью стягивания молнии над объектом защиты (плотность ударов молнии, длина, ширина, высота), материалом строительных конструкций объекта, инженерным наполнением объекта (наличием инженерных сетей и систем), факторами влияния местоположения и окружающей среды, наличием молниезащиты на объекте, средств пожаротушения, возможной паники людей в случае возникновения пожара и т. п.:

– риск гибели людей:

$$R1 = RA + RB + RC + RM + RU + RV + RW + Rz; \quad (2.10)$$

– риск недопустимого нарушения коммунального обслуживания:

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + Rz; \quad (2.11)$$

– риск потери культурных ценностей:

$$R3 = RB + RV; \quad (2.12)$$

– риск нанесения ущерба экономической ценности (экономический):

$$R4 = RA + RB + RC + RM + RU + RV + RW + Rz. \quad (2.13)$$

Предлагается следующий алгоритм расчета необходимости молниезащиты:

$$RA = ND \cdot PA \cdot LA; \quad (2.14)$$

$$RB = ND \cdot PB \cdot LB; \quad (2.15)$$

$$RC = ND \cdot PC \cdot LC; \quad (2.16)$$

$$RM = NM \cdot PM \cdot LM; \quad (2.17)$$

$$RU = (NL + NDa) \cdot PU \cdot LU; \quad (2.18)$$

$$RV = (NL + NDa) \cdot PV \cdot LV; \quad (2.19)$$

$$RW = (NL + NDa) \cdot PW \cdot LW; \quad (2.20)$$

$$RZ = (NI - NL) \cdot PZ \cdot LZ; \quad (2.21)$$

$$Ad = L \cdot W + 6 \cdot H \cdot (L + W) + 9 \cdot \pi \cdot H^2; \quad (2.22)$$

$$ND = Ng \cdot Ad / b \cdot Cd / b \cdot 10^{-6}; \quad (2.23)$$

$$NDa = Ng \cdot Ad / a \cdot Cd / a \cdot Ct \cdot 10^{-6}; \quad (2.24)$$

$$NM = Ng \cdot (Am - Ad / b \cdot Cd / b) \cdot 10^{-6}; \quad (2.25)$$

$$NL = Ng \cdot AI \cdot Cd \cdot Ct \cdot 10^{-6}; \quad (2.26)$$

$$AI = (LC - 3 \cdot (Ha + Hb)) \cdot \sqrt{\rho}; \quad (2.27)$$

$$Ai = 25 \cdot LC \cdot \sqrt{\rho}; \quad (2.28)$$

$$NI = Ng \cdot Ai \cdot Ce \cdot Ct \cdot 10^{-6}; \quad (2.29)$$

$$KMS = KS1 \cdot KS2 \cdot KS3 \cdot KS4; \quad (2.30)$$

$$KS4 = 1,5/Uw; \quad (2.31)$$

$$LA = ra \cdot Lt; \quad (2.32)$$

$$LU = ru \cdot Lt; \quad (2.33)$$

$$LB = LV = rp \cdot hz \cdot rf \cdot Lf; \quad (2.34)$$

$$LC = LM = LW = LZ = L0; \quad (2.35)$$

$$LB = LV = rp \cdot rf \cdot Lf; \quad (2.36)$$

$$LC = LM = LW = LZ = L0. \quad (2.37)$$

С учетом неравенства между расчетной величиной рисков и допустимой определяется необходимость устройства молниезащиты. При этом зданию требуется молниезащита, если какой-либо из рисков больше допустимого (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Допустимые величины рисков (RT)

Тип ущерба	RT
Гибель людей или увечья	10^{-5}
Нарушение коммунального обслуживания	10^{-3}
Потеря культурных ценностей	10^{-3}
Риск нанесения ущерба экономической ценности	10^{-3}

Для защиты от прямого удара молнии применяются молниеотводы, роль которых сводится к тому, чтобы принять на себя электрический разряд молний и затем отнести его в землю. Молниеотвод состоит из трех основных частей:

- молниеприемника;
- токоотвода;
- заземления.

В зависимости от типа молниеприемника молниеотводы разделяются на стержневые и тросовые, по количеству совместно действующих молниеотводов – на одиночные, двойные и многократные.

Наиболее простым является одиночный стержневой молниеотвод, зона защиты которого на уровне земли представляет окружность, радиус которой равен полуторной высоте молниеотвода. Чтобы определить зону защиты такого молниеотвода, необходимо:

– из точки O на горизонтальной прямой (рис. 2.1), совпадающей с уровнем земли, восстановить перпендикуляр, высотой H . Обозначим вершину молниеотвода через A ;

– влево и вправо от точки O на горизонтальной прямой отложить величины, равные $1,5H$, конечные точки которых обозначим через B . Величина OB , равная $1,5H$, будет радиусом основания конуса защиты (на уровне земли);

– на молниеотводе высотой H отметим точку (Γ), отстоящую от основания молниеотвода на расстоянии, равном $0,8H$;

– соединим точку B с точкой Γ , а точку B с точкой A прямыми линиями, получим две пары пересекающихся прямых $B\Gamma$ и BA с обеих сторон молниеотвода. Точки пересечения этих прямых обозначим через D .

В результате такого построения получаются две ломаные линии ADB , расположенные по обе стороны молниеотвода. Если теперь плоскую фигуру, ограниченную двумя ломаными линиями ADB и горизонтальной прямой BOB , вращать вокруг прямой линии OA , то образуется двойной конус. Это и будет зона защиты одиночного стержневого молниеотвода.

Самая большая зона защиты будет на уровне земли, а по мере удаления от земли к вершине молниеотвода зона защиты будет уменьшаться [36].

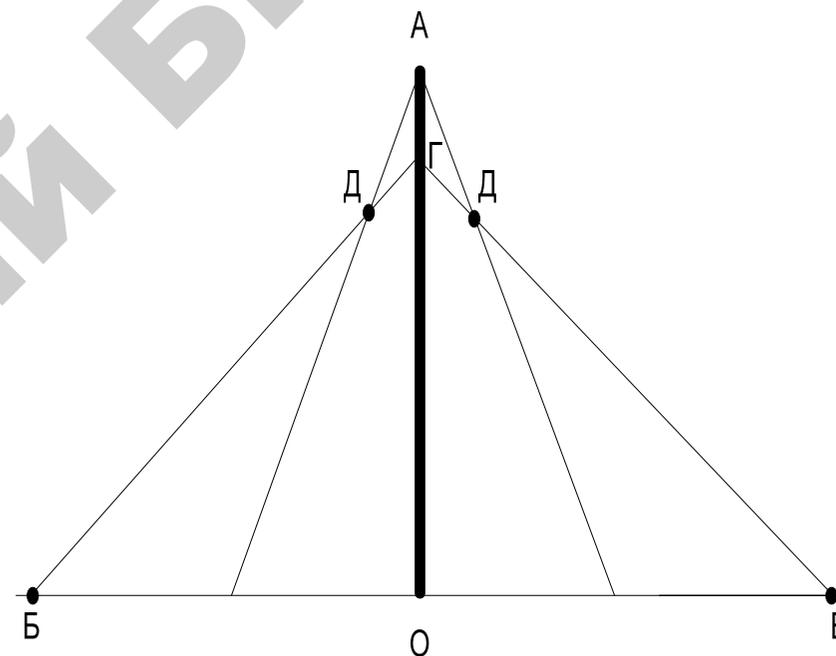


Рис. 2.1. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода в зависимости от высоты над защищаемой поверхностью

Если, например, высота молниеотвода 16 м, то зоны защиты на уровне защищаемой поверхности изобразятся в виде концентрических окружностей (рис. 2.2). Затем вычерчивается план объекта АПК и зона защиты на уровнях в соответствии с нанесенными горизонтальными линиями. Если все элементы сооружения охватываются полученной зоной защиты на разных высотах от земли, то выбранная высота молниеотвода достаточна.

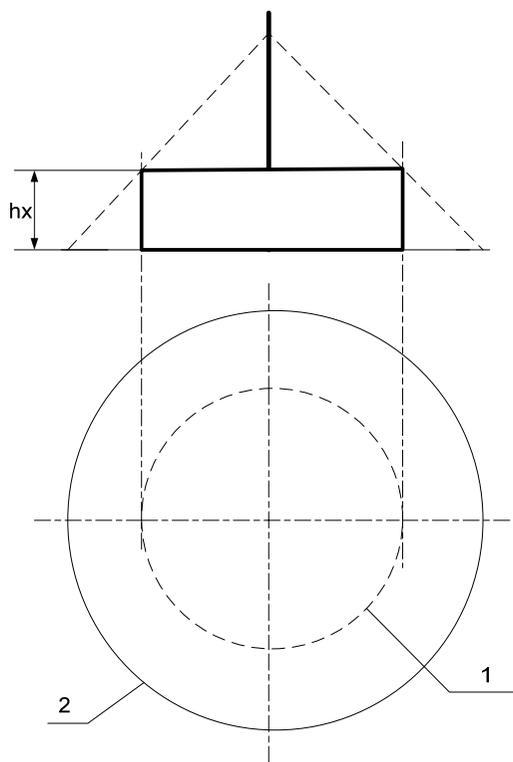


Рис. 2.2. Очертание зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода на различных уровнях от земли:

1 – граница зоны защиты на уровне hx ; 2 – то же на уровне земли

Графическое построение зоны защиты двойного стержневого молниеотвода выполняется следующим образом. Боковые части зоны – правая и левая от молниеотводов строятся аналогично построению зон защиты для одиночного стержневого молниеотвода.

Для построения средней части зоны на горизонтальной прямой (рис. 2.3), проведенной через основания молниеотводов, находим точку M , находящуюся на пересечении зон защиты, образованных линиями $АБД$ и горизонтальной прямой. На перпендикуляре (из точки M) откладываем до пересечения с горизонтальной плоскостью отрезок. Место пересечения обозначаем точкой K . Перпендикуляр $МК$ и образованный точками MHN треугольник будут являться соответственно высотой зоны защиты и областью зоны защиты с максимальной эффективностью.

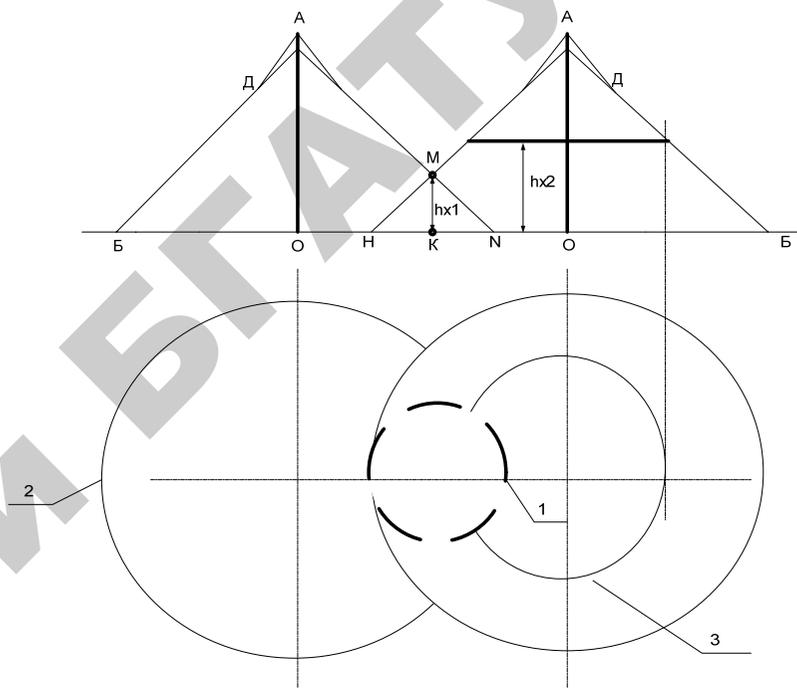


Рис. 2.3. Зоны защиты двойного стержневого молниеотвода равной высоты:

1 – граница зоны защиты на уровне $hx1$; 2 – то же на уровне $hx2$; 3 – то же на уровне земли

Молниеприемники стержневых молниеотводов выполняются из стальных стержней различной величины, формы и сечения. Минимальная площадь сечения молниеприемника стержневого молниеотвода может быть порядка 100 мм^2 . Лучшими способами крепления молниеприемника к токоотводу являются как сварка, так и болтовое соединение. Рекомендуется молниеприемники выполнять выступающими над мачтой на 15–20 см [79].

Токоотвод (соединение молниеприемников с заземлителями) должен выполняться из стали поперечным сечением не менее 25 мм^2 , то есть ее диаметр не должен быть менее 6 мм. Все соединения токоведущих элементов молниеотводов должны быть выполнены при помощи сварки, клепки или с помощью соединения болтами. Площадь контакта должна быть не менее удвоенной площади сечения токоотвода. Сварка должна выполняться внахлестку. Длина сварного шва должна быть не менее шестикратного диамет-

ра круглых проводов или двойной ширины прямоугольных полос. Прокладку токоотводов по крышам и стенам защищаемого здания, а также по деревянным конструкциям опор молниеотводов можно производить вплотную к поверхности. При наличии на защищенных зданиях легкосгораемых кровель (мягкая кровля, гонт и т. п.) токоотводы должны прокладываться на деревянных или металлических держателях на расстоянии 15 см от поверхностей кровли. При кровле из соломы, щепы и стружки должны применяться отдельно стоящие молниеотводы.

Токоотводы должны прокладываться по крыше и стене кратчайшими путями, с возможно большим удалением от электропроводки. Крепление токоотводов к стойке и стене должно производиться бандажами. Для предупреждения возможности прикосновения к токоотводящим частям молниеотводов и поражения шаговым напряжением рекомендуется прокладывать их с устройством заземлителей в местах меньшего скопления людей или животных. Все молниеотводы должны быть снабжены предупредительными надписями о недопустимости приближения к ним во время грозы на расстояние менее 4 м.

Для защиты строений, в которых помещаются животные (скотные дворы, конюшни, коровники и т. п.), ввиду повышенной чувствительности животных к шаговым напряжениям рекомендуется устанавливать отдельно стоящие молниеотводы. При этом расстояние от молниеотводов до строений должно быть не менее 4 м, а заземлитель должен быть направлен в противоположную сторону от защищенного строения. При этом он может быть выполнен из:

- а) вертикальных заземлителей, забиваемых в землю стержней или профильной стали;
- б) горизонтальных заземлителей в виде лучей или колец из стальных полос или тросов;
- в) комбинации вертикальных и горизонтальных заземлителей и др.

Удельный расчетный коэффициент сопротивления двухслойного грунта определяем по формуле

$$\rho = \frac{(\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L)}{(\rho_1 \cdot (L - H + t_{\text{полосы}}) + \rho_2 \cdot (H - t_{\text{полосы}}))}, \quad (2.38)$$

где ρ_1, ρ_2 – удельное сопротивление соответственно верхнего и нижнего слоев грунта, Ом·м;

L – длина вертикального заземлителя, м;
 H – толщина верхнего слоя грунта, м;
 $t_{\text{полосы}}$ – глубина заложения горизонтального заземлителя, м.

Сопротивление растеканию одного вертикального электрода определяем по формуле

$$r_{\text{в}} = \frac{0,366 \cdot k_1 \cdot \rho}{L} \cdot \left(\lg \left(\frac{2L}{0,95d} \right) + \frac{1}{2} \lg \left(\frac{4t + L}{4t - L} \right) \right), \quad (2.39)$$

где k_1 – климатический коэффициент для вертикальных электродов;
 d – диаметр стержня, мм;
 t – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя, м.

Предполагаемое количество вертикальных заземлителей определяем по формуле

$$n_{\text{вр}} = \frac{r_{\text{в}}}{R_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (2.40)$$

где $\eta_{\text{в}}$ – коэффициент использования вертикальных заземлителей;
 $R_{\text{н}}$ – нормируемое сопротивление растеканию тока в землю, Ом.

Сопротивление горизонтального заземлителя определяется по формуле

$$r_{\text{г}} = \frac{0,366 \cdot k_2 \cdot \rho_2}{l_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{г}}} \cdot \lg \left(\frac{2l_{\text{г}}^2}{b \cdot t_{\text{полосы}}} \right), \quad (2.41)$$

где k_2 – климатический коэффициент для горизонтальных электродов;
 $l_{\text{г}}$ – длина горизонтального заземлителя, м;
 $\eta_{\text{г}}$ – коэффициент использования горизонтальных электродов;
 b – ширина стальной полосы, мм.

Полное сопротивление вертикальных заземлителей R не должно превышать значения, определяемого по формуле

$$R = \frac{R_{\text{н}} \cdot r_{\text{г}}}{r_{\text{г}} - R_{\text{н}}}. \quad (2.42)$$

Уточненное количество вертикальных заземлителей n с учетом соединительной полосы находится из зависимости

$$n = \frac{r_B}{R \cdot \eta_B}. \quad (2.43)$$

Заземлители должны соединяться во всех случаях (за исключением животноводческих ферм) с имеющимися в зданиях водопроводами, подвесными дорогами, а также с заземлителями электрических установок, если они находятся на расстоянии менее 15–20 м от молниеотводов.

Укладка заземлителей должна производиться на глубину не менее 0,5–0,7 м, обязательно ниже глубины высыхания грунта в летнее время, а для заземлителей, вблизи которых могут находиться животные, глубина укладки должна быть не менее 1 м.

2.2. Прогнозирование показателя эффективности функционирования молниеотвода

Анализ статистических данных о пожарах на объектах АПК и собственный опыт позволили сделать вывод, что безопасное функционирование объекта во время грозных разрядов зависит от большого количества факторов различной природы. Это обстоятельство делает целесообразным постановку отсеивающих экспериментов, позволяющих на первом этапе исследований выявить наиболее существенные факторы, влияющие на устойчивость объекта к возникновению пожаров от грозных разрядов (параметр Y), которые обосновываются при проведении отсеивающих экспериментов с использованием плана Плакетта – Бермана (выбранный план наиболее эффективен с точки зрения проведения дисперсионного анализа).

В табл. 2.2 приведены факторы, различная комбинация которых оказывает влияние на параметр Y . Два фактора количественные – X_1 (степень огнестойкости объекта) и X_2 (высота здания), один – качественный – X_3 (расположение молниеотвода). При этом отдельно стоящим молниеотводом считается молниеотвод, расположенный на расстоянии от 3 и более метров от защищаемого здания или сооружения.

Натуральные и нормированные значения факторов устойчивого функционирования объекта АПК при воздействии грозных разрядов

Факторы	Значение факторов X_r , $r = 1, 2, 3$	
	$X_r = +1$	$X_r = -1$
1. Степень огнестойкости объекта – x_1	I – IV	V – VIII
2. Высота здания – x_2 , м	≤ 5	> 5
3. Расположение молниеотвода – x_3	Отдельно стоящий*	Расположенный в застройке

* Молниеотвод, расположенный на расстоянии от трех и более метров от защищаемого здания или сооружения.

Для постановки отсеивающего эксперимента был взят план полного факторного эксперимента типа 2^3 с количеством опытов $N = 2^3 = 8$ и числом дублей в каждом опыте $n = 3$ [80]. В результате обработки данных методами математической статистики получено адекватное уравнение регрессии первого порядка:

$$Y = \begin{cases} 0,969 + 0,013X_1 + 0,007X_2, & \text{если } X_3 = +1; \\ 0,947 + 0,013X_1 + 0,007X_2, & \text{если } X_3 = -1. \end{cases} \quad (2.44)$$

Анализ результатов отсеивающего эксперимента позволил сделать следующие выводы [81–85]:

а) молниеотвод, стоящий отдельно от защищаемого объекта ($X_3 = +1$), эффективнее, чем молниеотвод, расположенный непосредственно на объекте ($X_3 = -1$);

б) максимальная устойчивость объекта от грозопоражения ($\approx 99\%$) достигается в том случае, если объект относится к I – IV степени огнестойкости ($X_1 = +1$), а его высота не превышает 5 м ($X_2 = +1$).

На втором этапе исследований была поставлена задача – создать математическую модель, которая позволит прогнозировать эффективность функционирования молниеотвода. Предварительные исследования, а также анализ статистических данных пожаров в Республике Беларусь за последние 10 лет позволили установить наиболее существенные факторы: коэффициент защиты молниеотвода (отношение

зоны защиты молниеотвода к его высоте); коэффициент сопротивления заземлителя (отношение длины заземлителя к нормируемому сопротивлению заземления); площадь сечения молниеотвода, влияющие на этот процесс (рис. 2.4), а также установить уровни и интервалы их варьирования (табл. 2.3).

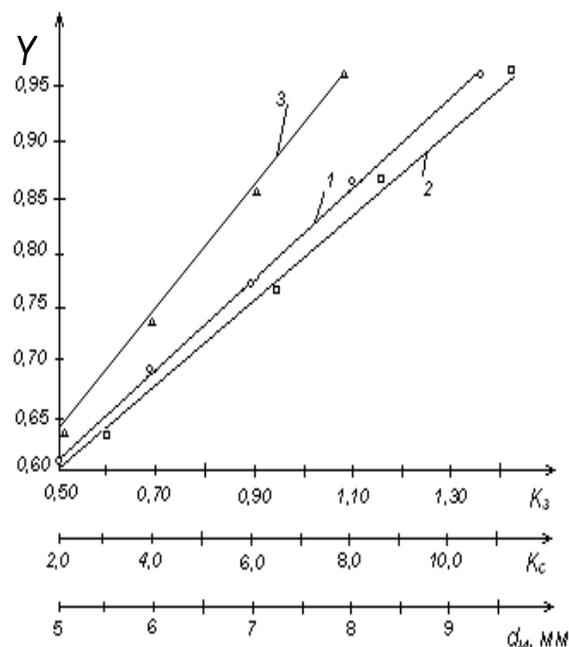


Рис. 2.4. Эффективность молниеотвода в зависимости от: 1 – коэффициента защиты молниеотвода K_3 ; 2 – коэффициента сопротивления заземлителя $K_с$; 3 – диаметра сечения молниеотвода d_m , мм

Таблица 2.3

Факторы, уровни и интервалы их варьирования, влияющие на эффективность молниеотвода

Факторы	Коэффициент защиты молниеотвода K_3	Коэффициент сопротивления заземлителя $K_с$, м/Ом	Диаметр сечения молниеотвода d_m , мм
1	2	3	4
Основной уровень, x_{r0}	0,96	6,7	30

1	2	3	4
Интервал варьирования, Δx_r	0,4	4,8	20
Верхний уровень, $X_r = +1$	1,36	11,5	50
Нижний уровень, $X_r = -1$	0,56	1,9	10
Формулы перевода натуральных значений факторов в нормированные и обратно	$X_1 = \frac{x_1 - 0,96}{0,4}$ $x_1 = 0,96 + 0,4 \cdot X_1$	$X_2 = \frac{x_2 - 6,7}{4,8}$ $x_2 = 6,7 + 4,8 \cdot X_2$	$X_3 = \frac{x_3 - 30}{20}$ $x_3 = 30 + 20 \cdot X_3$

Моделирование изучаемого объекта выполнялось с помощью трехфакторного неполного квадратного уравнения регрессии [80]:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3, \quad (2.45)$$

где $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}$ – коэффициенты уравнения регрессии.

Для нахождения коэффициентов приведенного уравнения регрессии использовался план полного факторного эксперимента (ПФЭ) с числом опытов $N_3 = 2^3 = 8$. План ПФЭ, в котором факторы ортогональны $\left(\sum_{j=1}^N X_{rj} X_{sj} = 0 \right)$, позволяет произвести независимую оценку коэффициентов многофакторного уравнения регрессии и дисперсий их значимости.

В табл. 2.4 приведены экспериментальные данные и результаты их обработки методами математической статистики.

Таблица 2.4

Результаты эксперимента для $k = 3$

N	Y_{1j}	Y_{2j}	Y_{3j}	\bar{Y}_j	S_j^2	Y_j^p	$(\bar{Y}_j - Y_j^p)^2$
1	0,605	0,590	0,610	0,602	$1,08 \cdot 10^{-4}$	0,598	$1,41 \cdot 10^{-5}$
2	0,780	0,780	0,820	0,793	$5,33 \cdot 10^{-4}$	0,793	$6,94 \cdot 10^{-5}$
3	0,720	0,705	0,730	0,718	$1,58 \cdot 10^{-4}$	0,718	$6,94 \cdot 10^{-5}$
4	0,910	0,919	0,900	0,910	$9,03 \cdot 10^{-5}$	0,914	$1,53 \cdot 10^{-5}$
5	0,660	0,645	0,665	0,657	$1,08 \cdot 10^{-4}$	0,658	$8,4 \cdot 10^{-5}$
6	0,850	0,840	0,860	0,850	$1,00 \cdot 10^{-4}$	0,853	$8,51 \cdot 10^{-5}$
7	0,775	0,765	0,785	0,775	$1,00 \cdot 10^{-4}$	0,778	$8,51 \cdot 10^{-5}$
8	0,980	0,970	0,990	0,980	$1,00 \cdot 10^{-4}$	0,973	$4,56 \cdot 10^{-5}$
$\sum_{j=1}^8 S_j^2 = 1,299 \cdot 10^{-3}$					$\varphi = \sum_{j=1}^8 (\bar{Y}_j - Y_j^p)^2 = 9,283 \cdot 10^{-5}$		

В результате статистической обработки результатов эксперимента установлено:

а) все 8 выборочных дисперсий S_j^2 однородны по критерию Кохрена,

так как $G_3 < G_{n-1; N; 0,95}$, где $G_3 = \max S_j^2 / \sum_{j=1}^N S_j^2 = \frac{5,333 \cdot 10^{-4}}{1,299 \cdot 10^{-3}} = 0,411$ –

экспериментальное значение критерия Кохрена, $G_{2; 8; 0,95} = G_{n-1; N; p} = 0,516$ – критическое значение критерия Кохрена при числе степеней свободы $f_{\text{числ}} = n - 1$, $f_{\text{знам}} = N$ и доверительной вероятности $p = 0,95$;

б) так как выборочные дисперсии однородны, то дисперсия воспроизводимости и ее число степеней свободы f определяются по следующим уравнениям:

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N} = \frac{1,299 \cdot 10^{-3}}{8} = 1,624 \cdot 10^{-4},$$

$$f = N(n - 1) = 8 \cdot (3 - 1) = 16;$$

в) коэффициенты уравнения регрессии, рассчитанные по следующим формулам:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^8 \bar{Y}_j}{8}; \quad (2.46)$$

$$b_r = \frac{\sum_{j=1}^8 X_{rj} \bar{Y}_j}{8}, \quad r = 1, 2, 3; \quad (2.47)$$

$$b_{rs} = \frac{\sum_{j=1}^8 X_{rj} X_{sj} \bar{Y}_j}{8}, \quad r, s = 1, 2, 3, \quad (2.48)$$

равны:

$$b_0 = 0,7856; b_1 = 0,0977, b_2 = 0,0602, b_3 = 0,0298,$$

$$b_{12} = 0,0014, b_{13} = 0,0019, b_{23} = 0,0019;$$

г) доверительный интервал всех коэффициентов уравнения регрессии равен:

$$\Delta b = t_{N(n-1); p} \cdot \sqrt{\frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \cdot N}} = 2,120 \cdot \sqrt{\frac{1,624 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 8}} = 5,514 \cdot 10^{-3} \approx 6 \cdot 10^{-3},$$

поэтому коэффициенты b_0, b_1, b_2, b_3 трехфакторного уравнения регрессии значимы по критерию Стьюдента, так как $\Delta b < b_r$ ($r = 0, 1, 2, 3$), а коэффициенты b_{12}, b_{13}, b_{23} незначимы, так как $\Delta b > b_{rs}$ ($r, s = 1, 2, 3, r < s$), где $t_{\text{табл}} = t_{N(n-1); p} = t_{16; 0,95} = 2,120$ – табличное значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы $f = N(n - 1) = 16$ и доверительной вероятности $p = 0,95$;

д) полученное трехфакторное уравнение регрессии адекватно, так как $F_3 < F_{\text{табл}}$, где:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{n\varphi}{N - B} = \frac{3 \cdot 9,283 \cdot 10^{-5}}{8 - 4} = 6,962 \cdot 10^{-5},$$

$$f_{\text{ад}} = N - B = 8 - 4 = 4; \quad (2.49)$$

$$F_9 = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{S_{\text{ад}}^2} = \frac{1,624 \cdot 10^{-4}}{6,962 \cdot 10^{-5}} = 2,333, \text{ так как } S_{\text{воспр}}^2 > S_{\text{ад}}^2; \quad (2.50)$$

$$F_{\text{табл}} = F_{N(n-1); N-B; 0,95} = F_{16; 4; 0,95} = 5,844,$$

где $F_{N(n-1); N-B; 0,95} = F_{16; 4; 0,95} = 5,844$ – табличное значение критерия

Фишера при числе степеней свободы $f_{\text{числ}} = N(n-1) = 16$, $f_{\text{знам}} = N - B = 4$ (B – число значимых коэффициентов регрессии, $B = 4$) и доверительной вероятности $p = 0,95$;

е) относительная погрешность прогнозирования параметра Y равна:

$$\Delta Y = t_{N(n-1)} \sqrt{\frac{S_{\text{воспр}}^2}{nN} (1 + X_1^2 + X_2^2 + X_3^2)}; \quad (2.51)$$

ж) с учетом изложенного выше уравнение (2.45) примет следующий вид:

$$Y = 0,786 + 0,098 \cdot X_1 + 0,060 \cdot X_2 + 0,030 \cdot X_3. \quad (2.52)$$

Максимальное значение параметра Y достигается при $X_1 = +1$, $X_2 = +1$, $X_3 = +1$ и равно согласно уравнениям (2.51)–(2.52) $Y_{\text{max}} = 0,974 \pm 0,011$;

з) перевод нормированных значений факторов в натуральные осуществляем по формулам, приведенным в табл. 2.3. Максимальная эффективность функционирования молниеотвода достигается при $K_3 = 1,36$, $K_c = 11,5$, $d_M = 50$ мм.

Таким образом, в результате проведенных теоретических исследований [81–85] предложена модель оптимизации затрат на устойчивое функционирование молниезащиты объекта АПК. Установлено, что максимальная устойчивость объекта АПК к возникновению пожаров от грозных разрядов достигается, когда здание высотой не более 5 м относится к группе I–IV по степени огнестойкости и имеет отдельно установленный молниеотвод. Разработана математическая модель для прогнозирования эффективной работы молниеотвода. Определено, что наилучшая молниезащита ($\approx 97\%$) обеспечивается, когда молниеотвод имеет площадь сечения 50 мм^2 , а значения коэффициентов защиты молниеотвода и сопротивления заземлителя равны 1,36 и 11,5 соответственно.

3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

3.1. Методика определения необходимости устройства молниезащиты зданий и сооружений

Безопасное функционирование объекта во время грозных проявлений зависит от различного рода и множества факторов [81–85]. По этой причине эксперимент должен выполняться с целью минимизации числа опытов, выявления и изучения лишь тех факторов, которые существенно влияют на работоспособность функционирования рассматриваемой системы (молниезащиты и защищаемого производственного объекта).

В общем случае комплекс работ по подготовке и проведению исследований состоял из:

- сбора и обработки информации о фактической эксплуатации молниезащиты на объектах агропромышленного комплекса;
 - сбора и обработки информации о характеристиках молниезащиты зданий и сооружений агропромышленного комплекса, на которых произошли пожары от прямого удара молнии;
 - сбора и обработки информации о геометрических, архитектурных, технологических особенностях зданий и сооружений агропромышленного производства;
 - выявления факторов, послуживших причинами возникновения пожаров от грозных проявлений;
 - классификации факторов по способу управления ими.
- Организация и проведение исследований включали следующее:
- наблюдение явления пожаров от ударов молнии на объектах агропромышленного комплекса;
 - поиск и выявление идеальных условий, при которых молниезащита выполнит свою функцию;
 - анализ и сравнение полученных данных об устойчивом функционировании молниезащиты с фактическими условиями эксплуатации молниезащиты, теоретическими результатами ранее проведенных исследований.

К объектам исследования относились архитектурные особенности объектов защиты, их геометрические размеры, способы размещения молниезащиты и ее геометрические размеры.

Наблюдения за устойчивым функционированием молниезащиты требовали выполнения следующих видов работ:

- разовых обследований объектов агропромышленного комплекса, на которых произошли пожары;
- организации наблюдений за условиями функционирования молниезащиты на объектах агропромышленного комплекса, на которых пожары не произошли, на примере отдельно взятого района Республики Беларусь.

Эксперимент планировался таким образом, чтобы обеспечить наибольшую точность математической модели, определить зависимость устойчивости от грозопоражения объекта АПК. На начальном этапе эксперимента необходимо было решить следующие задачи:

- выявить факторы, воздействующие на устойчивое функционирование объекта при воздействии на него грозовых проявлений;
- классифицировать выявленные факторы (для объекта защиты, для молниеотвода);
- составить матрицу отсеивающего эксперимента.

Для этого было необходимо:

- организовать сбор априорной информации: провести анализ статистических сведений по пожарам, условиям функционирования молниезащиты, с проведением элементов фотосъемки и измерениями; проверить соблюдение требований ТНПА, технических условий (ТУ);
- составить план проведения эксперимента: определить факторы, влияющие на исследуемые объекты, и провести их классификацию по группам (управляемые, неуправляемые неконтролируемые); определить количество опытов;
- обосновать критерий устойчивости объекта от поражений его молнией и др.

Для постановки отсеивающего эксперимента был взят план полного факторного эксперимента типа 2^3 с количеством опытов $n = 8$ и числом дублей в каждом опыте $n = 3$. План построения отсеивающих экспериментов определялся исходя из следующих ситуаций:

ситуация 1 – все факторы могут привести к поражению молнией объекта; характеризуется тремя знаками « \rightarrow » в столбцах строки;

ситуация 2 – два фактора могут привести к поражению молнией объекта; характеризуется двумя знаками « \rightarrow », одним знаком « $+$ » в столбцах строки;

ситуация 3 – один из факторов может привести к поражению молнией объекта; характеризуется одним знаком « \rightarrow » в столбцах строки;

ситуация 4 – ни один из факторов не может привести к поражению молнией объекта; характеризуется тремя знаками « $+$ » в столбцах строки.

План проведения эксперимента с кодируемыми факторами приведен в табл. 3.1.

Таблица 3.1

План эксперимента с кодируемыми факторами

Номер	X_1	X_2	X_3
1	–	–	–
2	+	–	–
3	–	+	–
4	+	+	–
5	–	–	+
6	+	–	+
7	–	+	+
8	+	+	+

Правильность построения отсеивающих экспериментов определялась двумя признаками:

– равенством количества знаков « $+$ » и « \rightarrow » в каждом столбце плана;

– диагональным расположением одинаковых знаков в ячейках плана.

На основе полученных результатов должна быть построена математическая модель и описана зависимость устойчивого функционирования объекта АПК при воздействии на него грозовых проявлений от ряда факторов, характеризующих объект защиты и молниеотвод.

Для сбора, системного анализа и составления базы данных осуществлялось определение и природа факторов, непосредственным образом влияющих на безопасность исследуемого объекта, их распределение на группы. При этом особое внимание уделялось объектам с устройством молниезащиты, на которых произошел пожар от удара молнии.

При сборе данных количество исследуемых объектов (натурных наблюдений) определялось на основе сведений по числу пожаров от ударов молнии на объектах агропромышленного комплекса (экспертные решения по пожарам, карточки по пожарам), объектов агропромышленного комплекса в районе выезда подразделений по чрезвычайным ситуациям Минского района [86].

При отборе факторов устойчивого функционирования объекта рассматривались (табл. 3.2):

X – факторы, которые влияют на поведение системы «объект защиты» (далее – система), и которыми возможно управлять;

Z – факторы, которые влияют на систему, и которыми управлять невозможно вследствие ограничений (технических, технологических, экономических: сила тока молнии, частота удара молнии и т. д.);

Q – факторы, которые влияют на поведение системы, но управление ими на данном этапе развития технических наук невозможно (полярность молнии).

Таблица 3.2

Сводная таблица факторов функционирования объекта

Номер	Обозначение фактора	Факторы, ед. изм.
1	2	3
1. Факторы типа X		
1	X	Высота объекта защиты, м
1.2	X	Площадь объекта защиты, м
1.3	X	Степень огнестойкости объекта защиты
1.4	X	Размещение молниеотвода на/возле объекта(е) защиты
1.5	X	Форма кровли объекта защиты
1.6	X	Отношение высоты молниеотвода к его радиусу зоны защиты, м/м

1	2	3
1.7	X	Сечение молниеприемника, мм
1.8	X	Длина заземлителя, м
1.9	X	Отношение допустимого для заземлителя молниеотвода сопротивления к удельному сопротивлению грунта, Ом/Ом·м
1.10	X	Удельное сопротивление грунта, Ом·м
1.11	X	Тип грунта
1.12	X	Отношение длины заземлителя к допустимому сопротивлению, м/Ом
1.13	X	Площадь заземлителя, м ²
1.14	X	Тип заземлителя
1.15	X	Высота молниеотвода, м
1.16	X	Материал элементов молниеотвода
1.17	X	Место расположения молниеотвода на/возле объекта защиты
1.18	X	Время года
1.19	X	Удельная пожарная нагрузка в здании, сооружении
1.20	X	Горючесть кровельного материала
2. Факторы типа Z		
2.1	Z	Пожарная нагрузка объекта защиты, мДж/м ²
2.2	Z	Сила тока молнии, КА
2.3	Z	Напряжение молнии, КВ
2.4	Z	Частота удара молнии, удар/км ²
2.5	Z	Безопасное расстояние от объекта защиты до молниеотвода, м
2.6	Z	Надлежащее обслуживание и контроль молниезащиты
2.7	Z	Значение сопротивления заземлителя молниеотвода, определенное инструментальным способом через промежуток времени: день/неделя/месяц, Ом

1	2	3
3. Факторы типа Q		
3.1	Q	Полярность молнии
3.2	Q	Высота удара молнии, м
3.3	Q	Психофизические особенности человека

В соответствии с целью работы (совершенствование комплекса организационных и инженерно-технических мероприятий для снижения влияния грозových проявлений на объектах агропромышленного комплекса) было решено отобрать те факторы X , которые независимы от факторов, влияющих на поведение исследуемого объекта.

При выборе определялись значимые и незначимые, качественные и количественные факторы. К значимым относились факторы, указывающие на причину возникновения пожара. Данные факторы подразумевали собой характеристики строительных конструкций, планировочные решения объекта защиты, способы молниезащиты, характеристики молниеотвода. В дополнение проводилась фотосъемка, при помощи которой учитывались особенности строения здания (сооружения), условия функционирования молниезащиты.

Из значимых факторов выбирались существенные, к которым относились те, которые в большей степени влияли на параметр Y .

Пределы значений существенных факторов определялись следующим образом:

- определялось количество однотипных случаев пожаров от грозových проявлений ($N_{пор}$);
- случаи пожаров группировались по количеству одинаковых факторов, способствующих возникновению пожаров (n_n);
- определялось соотношение $n_n / N_{пор}$;
- если неравенство удовлетворяло условию $0,1 < n_n / N_{пор} \leq 0,9$, то фактор считался значимым.

Необходимость устройства молниезащиты зданий и сооружений определялась посредством моделирования процесса, так как практически невозможно четко сформулировать критерий оценки объекта исследования, его взаимодействие с окружающей средой, если

описание процесса не поддается полной формализации. Для решения поставленной задачи использовались элементы имитационного моделирования в соответствии с методикой, изложенной в [81]. Основные требования, предъявляемые к имитационной модели определения необходимости устройства молниезащиты, следующие:

- полнота модели должна предоставлять возможность получения необходимого набора характеристик здания и сооружения (геометрических размеров, технологических особенностей и т. п.);
- гибкость модели должна давать возможность воспроизведения различных ситуаций при варьировании функционального назначения и вводных данных для здания и сооружения;
- структура модели должна быть модульной, т. е. допускать возможность формирования вариантов модели за счет изменения содержания отдельных модулей моделирования без необходимости изменения структуры модели в целом;
- структура модели должна иметь в себе нелинейные или циклические элементы (смешанное моделирование).

С учетом вышеприведенных требований были рассмотрены основные положения, которые справедливы при моделировании процесса определения необходимости устройства молниезащиты.

Характеристики процесса воздействия грозových проявлений на здания и сооружения определялись на основе модели, построенной исходя из имеющейся исходной информации об объекте, процессе воздействия молнии, а также типов рисков и элементов рисков, наиболее вероятных для здания или сооружения.

Адекватность модели оценивалась по двум составляющим:

- наличие общего алгоритма;
- наличие наиболее вероятных элементов рисков для здания или сооружения.

Предложенная оценка рассматриваемой модели позволяет определить необходимость устройства молниезащиты исключительно на основе наиболее вероятных для конкретного здания или сооружения воздействий от грозových молний, что в целом позволяет минимизировать временные трудозатраты. При этом алгоритм определения необходимости устройства молниезащиты (рис. 3.1) включает [87–88]:

- определение функционального назначения объекта;
- определение условий воздействия грозовых проявлений на объект;
- определение типов рисков;
- определение элементов рисков для здания или сооружения;
- сравнение величин элементов рисков с их допустимыми значениями;
- вывод о необходимости устройства молниезащиты.

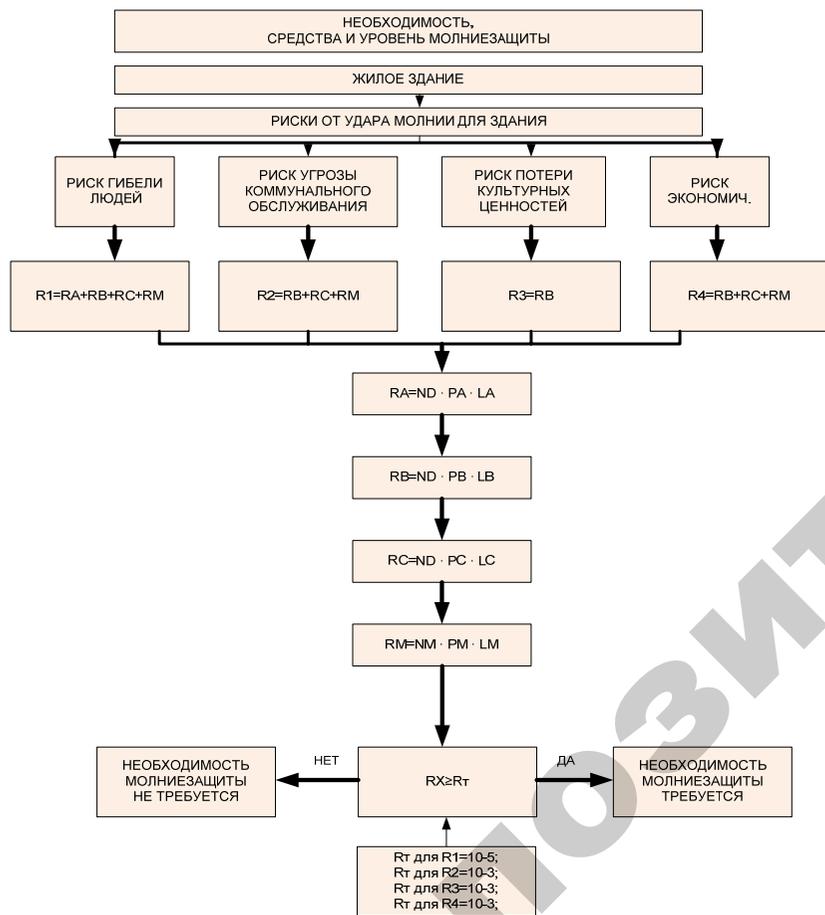


Рис. 3.1. Алгоритм определения необходимости устройства молниезащиты для здания или сооружения

Комбинации наиболее приемлемых элементов рисков определялись с учетом характеристик условий влияния грозовых проявлений, характеристик здания или сооружения (в том числе технологических особенностей). Так, элемент риска RA характерен исключительно для случая, когда одновременно совпадают 2 условия: прямой удар молнии в здание или сооружение и наличие в них людей. Элемент риска RC характерен для случая, когда одновременно совпадают прямой удар молнии в здание или сооружение и возникновение электромагнитных наводок в инженерных токопроводящих коммуникациях здания. Последствия от элемента риска RM идентичны последствиям от элемента риска RC , при этом для RM характерно условие – удар молнии около здания или сооружения.

Таким образом, например, для молочно-товарной фермы набор наиболее вероятных элементов для определения риска гибели людей равен [87–88]:

$$R1 = RA + RB. \quad (3.1)$$

При этом элементы риска RC и RM не рассматриваются, так как в здании будет отсутствовать опасность взрыва. Для жилого здания в сельской местности с печным отоплением набор наиболее вероятных элементов по риску гибели людей равен:

$$R1 = RA + RB + RM. \quad (3.2)$$

Для этого случая элементы риска RC и RM также рассматриваются, так как в здании будет отсутствовать опасность взрыва.

В здании, оборудованном котельной установкой, работающей на природном газе, набор наиболее вероятных элементов по риску гибели людей равен:

$$R1 = RA + RB + RC + RM. \quad (3.3)$$

Для открытого склада набор вероятных элементов по риску гибели людей будет равен элементу риска, при котором удар молнии в здание может вызвать повреждения, разрушения, взрыв и пожар: $R1 = RB$.

Критерии для разработки модели определения устройства молниезащиты для зданий и сооружений по рискам $R1–R4$ в зависимости от их функционального назначения приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Критерии для разработки модели определения устройства молниезащиты

Функциональное назначение	Жилое здание	Производственное и складское	МТФ, телятник, коровник и т. д.	Открытые склады
Наиболее вероятные элементы риска, характерные для здания (сооружения)				
1	2	3	4	5
Риск гибели людей <i>R1</i>				
<i>RA</i>	+	+	+	–
<i>RB</i>	+	+	+	+
<i>RC</i>	+	+	–	–
<i>RM</i>	+	+	–	–
Риск угрозы коммунального обслуживания <i>R2</i>				
<i>RA</i>	–	–	–	–
<i>RB</i>	+	+	+	+
<i>RC</i>	+	+	+	–
<i>RM</i>	+	+	+	–
Риск потери культурных ценностей <i>R3</i>				
<i>RA</i>	–	–	–	–
<i>RB</i>	+	+	+	+
<i>RC</i>	–	–	–	–
<i>RM</i>	–	–	–	–
Риск потери культурных ценностей <i>R4</i>				
<i>RA</i>	–	–	+	–
<i>RB</i>	+	+	+	+
<i>RC</i>	+	+	+	–
<i>RM</i>	+	+	+	–
Риск гибели людей <i>R1</i>				
<i>RA</i>	+	+	+	+
<i>RB</i>	+	+	+	+
<i>RC</i>	+	+	+	+
<i>RM</i>	+	+	+	+
Риск угрозы коммунального обслуживания <i>R2</i>				
<i>RA</i>	–	–	–	–
<i>RB</i>	+	+	+	+
<i>RC</i>	+	+	+	+
<i>RM</i>	+	+	+	+

Окончание табл. 3.3

1	2	3	4	5
Риск потери культурных ценностей <i>R3</i>				
<i>RA</i>	–	–	–	–
<i>RB</i>	+	+	+	+
<i>RC</i>	–	–	–	–
<i>RM</i>	–	–	–	–
Риск потери культурных ценностей <i>R4</i>				
<i>RA</i>	–	–	–	–
<i>RB</i>	+	+	+	+
<i>RC</i>	+	+	+	+
<i>RM</i>	+	+	+	+

На основании выбираемых критериев разработаны модели определения устройства молниезащиты по наиболее приемлемым элементам рисков, а также характеристикам условий влияния грозовых проявлений, характеристикам здания или сооружения для жилых, производственных, сельскохозяйственных зданий.

Для разработки программного обеспечения создан интерфейс в виде таблицы исходных данных, промежуточных вычислений и области принятия решения по результатам расчета (рис. 3.2–3.4). Интерфейс программы содержит обозначения исходных и промежуточных данных, варианты их числовых значений в виде контекстного меню и пояснения в виде всплывающих подсказок. Для облегчения работы с программным обеспечением (ПО) в него включены всплывающие подсказки, созданные в меню «Рецензирование – Создать примечание».

γ_0	0,5	P_{sFD}	1
h_z	Фактор увеличения h_z относительно объема ущерба при наличии особой опасности (см. таблицу С.5 СТБ П IEC 62305-2)		
γ_f			0,5
L_f	0,1	C_1	0,2
$P_C = P_{sFD}$	1	C_d/a	0,25
$L_C = L_M = L_0$	0,001		
C_e	0,1	L_C	150
K_{S1}	1	K_{S2}	1

Рис. 3.2. Всплывающая подсказка в меню исходных данных

Для выбора вариантов числовых значений исходных данных [87–88] созданы выпадающие списки с помощью меню «Данные – Проверка данных – Список» (рис. 3.3).

r_D	0,5	P_W	1
h_z	5	P_z	1
r_f	0,001	$C_d=C_d/b$	0,5
L_f	0,1	C_1	0,2
$P_C = P_{SPD}$	0,001	C_d/a	0,25
$L_C=L_M=L_0$	0,001		
C_ε	0,1	L_C	150
K_{S1}	1	K_{S2}	1
U_W	2,5	ρ	500

Рис. 3.3. Выбор числового значения показателя

Пояснения к вариантам исходных данных выполнены в виде всплывающих подсказок, созданных в меню «Рецензирование – Создать примечание» (рис. 3.4).

9	5	P_C	1	$L_W=L_Z=L_0$	0,001	N_1	0,0
10	0,001						
11	0,1						
12	1						
13	0,001						
14	0,1						
15	1						
16	2,5						
17	Тип участка						
18	Элементы риска						
19	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
20	3,0268E-06	6,0537E-05	0,00052974	2,095E-08	5,237E-08	2,095E-07	3,91E-06

Рис. 3.4. Интерфейс программы с пояснением значения показателя

Элементы риска для каждого типа ущерба в здании рассчитаны путем использования простых математических функций *, +, -, КОРЕНЬ, СУММ, ПИ. В зависимости от расположения участка сбора исходных данных в систему энергоснабжения и вблизи нее формула расчета коэффициентов вероятности поражения выбирается с помощью оператора ЕСЛИ.

На завершающем этапе разработки ПО осуществлена защита исходных данных от случайного редактирования. Для этого ячейки, подлежащие защите, выделяются блоком и маркируются в меню «Формат ячеек – Защита – Защищаемая Ячейка». Затем в меню

«Рецензирование – Защитить лист» устанавливается пароль на редактирование защищенных ячеек (рис. 3.5, 3.6).

Определение необходимого уровня молниезащиты проводилось путем последовательного подбора коэффициентов молниезащиты.

По результатам расчета программа выдает рекомендации по управлению рисками в данном здании, сооружении или инженерной коммуникации.

Рис. 3.5. Защита ячеек от случайного редактирования

Рис. 3.6. Меню защиты структуры и окон

3.2. Методика оценки функциональной устойчивости молниеотвода

Наблюдения за молниеотводом проводились согласно плану-графику исследований раз в неделю. Период наблюдений – июль – октябрь. При этом выполнялись:

- описание общих климатических особенностей площадки для организации и проведения наблюдений;
- разработка схемы размещения молниеотвода относительно условных и деформационных знаков (окружающих объектов) (рис. 3.7);
- календарный план наблюдений;
- описание организации наблюдений, факторов наблюдений;
- расчет факторов наблюдений;
- описание метода наблюдений.

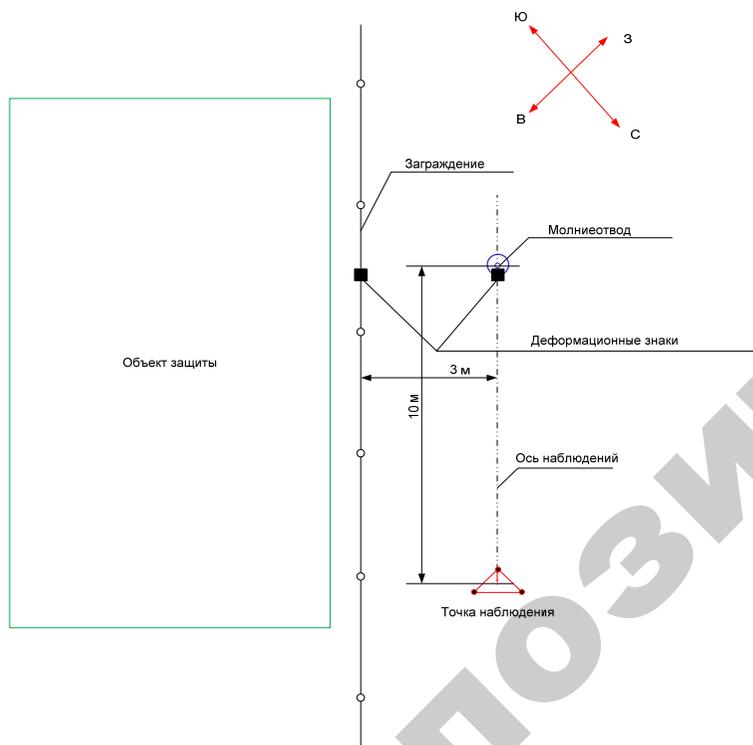


Рис. 3.7. Схема размещения молниеотвода относительно условных и деформационных знаков

При проведении наблюдений отслеживались следующие факторы:

- отклонение от осей по горизонтали q_x и вертикали q_y ;
- целостность элементов молниеотвода.

В случае появления фактора, приводящего к резкому изменению обычного хода деформации (изменение нагрузки на основание, температуры окружающей среды и самого сооружения, уровня грунтовых вод, землетрясения, сильного ветра, удара молнии в молниеотвод и др.), выполнялись внеплановые наблюдения.

Целью систематических и внеплановых наблюдений являлось определение величин деформации для оценки устойчивости молниеотвода и принятия своевременных профилактических мер, обеспечивающих его нормальную работу.

Наклон молниеотвода определялся как наклон в направлении горизонтальной оси, в направлении вертикальной оси – как перекос. Наклон и перекос точки молниеотвода характеризовались разностью ее координат: $x_{тек}$, $x_{нач}$ – для наклона, $y_{тек}$, $y_{нач}$ – для перекоса. Вычислялись значения наклонов и перекосов по формулам [89–90]:

$$q_x = x_{тек} - x_{нач}, \quad (3.4)$$

$$q_y = y_{тек} - y_{нач}. \quad (3.5)$$

Изменение величины деформации за выбранный интервал времени характеризовалось средней скоростью деформации $v_{ср}$. Так, например, средняя скорость наклона равна:

$$v_{ср} = (q_{x1} - q_{x2}) / t. \quad (3.6)$$

По результатам наблюдений определялась среднемесячная скорость, выявлялись закономерности, позволяющие прогнозировать процесс устойчивости молниеотвода. Наблюдения непосредственно за устойчивостью молниеотвода были начаты с момента его монтажа и продолжались в течение всего грозового сезона. В случаях падения, нарушения целостности токопровода молниеотвода наблюдения прекращались. По окончании очередного цикла измерений (раз в месяц) выполнялся анализ полученных результатов, их точности. По результатам вычислений q_x , q_y и $v_{ср}$ составлялась ведомость отметок соответствующих «наклонов» и «перекосов» (табл. 4.3). Наклоны и перекосы вычислялись по отношению к первичным исследованиям с учетом их накопления. Для наглядности составлялись пространственно-временные графики по наклонам и перекосам.

Наблюдения за отклонением выполняли при помощи фотосъемки и с использованием инструментального метода (теодолита). Использование теодолита – оптического прибора для измерения горизонтальных и вертикальных углов – при разбивке осей сооружений и выверке вертикальности установленных конструкций предусматривало его установку на штативе. При этом горизонтальный круг (лимб) теодолита должен занять горизонтальное положение. Направляя зрительную трубу теодолита на точку наблюдения, отсчитывали с помощью отсчетных приспособлений по горизонтальному кругу угол направления, а по вертикальному кругу – угол наклона (рис. 3.8). Фотосъемка предусматривала применение фотоаппарата в плоскости, параллельной плоскости фотоснимка, для фиксации визуального состояния молниеотвода в период его исследований. Перед фотосъемкой задавалось расстояние фотокамеры от объекта (для различных случаев) и фокусное расстояние объектива фотокамеры.

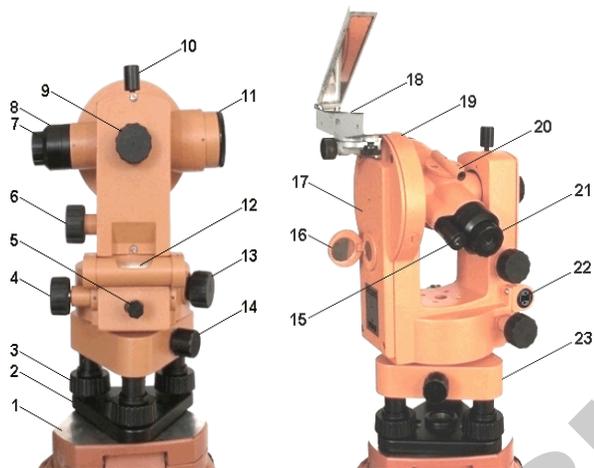


Рис. 3.8. Устройство теодолита 3Т5КП

1 – головка штатива; 2 – основание; 3 – подъемный винт; 4 – наводящий винт алидады; 5 – закрепительный винт алидады; 6 – наводящий винт зрительной трубы; 7 – окуляр зрительной трубы; 8 – предохранительный колпачок сетки нитей зрительной трубы; 9 – кремальера; 10 – закрепительный винт зрительной трубы; 11 – объектив зрительной трубы; 12 – цилиндрический уровень; 13 – кнопочный винт для поворота лимба; 14 – закрепительный винт; 15 – окуляр отсчетного микроскопа с диоптрийным кольцом; 16 – зеркальце для подсветки штрихов отсчетного микроскопа; 17 – колонка; 18 – ориентир-буссоль; 19 – вертикальный круг; 20 – визир; 21 – диоптрийное кольцо окуляра зрительной трубы; 22 – исправительные винты цилиндрического уровня; 23 – подставка

Для проведения первичных наблюдений фиксировалась точка на расстоянии 10 м от молниеотвода. Теодолит устанавливался на точке проведения наблюдений и приводился в рабочее положение. Установка происходила путем совмещения обозначенных точек опор (точка проведения наблюдений – треугольник, сформированный треногами теодолита), определенных и отмеченных при первоначальных наблюдениях, и колышек треног, замером высоты оси наблюдения и сравнения его со значением высоты, полученной при первоначальных наблюдениях. Точка наблюдения также обозначалась флажком. Высота расположения оптической трубы теодолита находилась на уровне глаз. Контроль высоты трубы (во избежание погрешности) также производился при помощи аттестованного измерительного инструмента (рулетки ручной). Прибор устанавливался по оптическому отвесу, сначала грубо, «на глаз», перемещая штатив, затем, при помощи перемещения по горизонтальной платформе уточнялось положение над вершиной угла (точкой наблюдения) (рис. 3.9).



Рис. 3.9. Особенности регулировки теодолита 3Т5КП при проведении наблюдений

Вертикальное и горизонтальное положение оси вращения теодолита устанавливалось при помощи цилиндрического уровня. После

закрепления прибора проверялась правильность установки: вращая теодолит в плоскости, наблюдалось положение пузырька цилиндрического уровня. Отклонение не должно было превышать одно деление шкалы.

Теодолит готов к применению в случае, если установка оптической трубы позволяет четко видеть шкалу сетки нитей и наблюдаемый объект съемки. Штрихи лимба и шкала отсчетного микроскопа также должны быть четко видны.

Направление фиксации деформаций молниеотвода с точки наблюдений определялось при помощи компаса. На молниеотводе по его оси на высоте 0,000 и 1,500 и 10,000 (верхняя часть молниеотвода) фиксировались вертикальные и горизонтальные отметки параллельно и перпендикулярно оси типа «+» (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Фиксация отметок на молниеотводе

Затем инструментально фиксировались значения этих отметок (ось пересечения) по горизонтали q_x и вертикали q_y .

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

На основании проведенного патентного поиска конструкций молниеотвода, а также с учетом результатов теоретических исследований, проводимых в рамках выполнения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы «Научное обоснование оптимальных технических средств защиты от прямых ударов молнии зданий и сооружений, разработка экспериментального отечественного образца молниеотвода» (№ государственной регистрации 20140450) изготовлен экспериментальный молниеотвод, состоящий из следующих основных элементов: молниеприемник, токоотвод, заземлитель, опора и бетонный груз (рис. 4.1). Молниеприемник и токоотвод в целях приема и отвода тока молнии к заземлителю представляет собой цельнометаллический сборный стержень (далее – мачта), устойчивый к воздействию ветровых нагрузок, изгибам, возникающим при приеме тока молнии. Молниеприемник выполняется из стали марок Ст10, Ст8, оцинкованной стали. Мачта молниеотвода высотой 10 м состоит из верхней (1), средней (2) и нижней частей (3). Диаметр сечения мачты у основания (у нулевой отметки земли) составляет не менее 80 мм, у верхушки мачты – не менее 8 мм, в средней части мачты – не менее 55 мм. На мачте у ее основания присутствует место контактного соединения (4), которое располагается на высоте не менее 1 м от нулевой отметки молниеотвода. Контактное соединение представляет собой прямоугольную пластину из стали Ст10 размерами 3×11 см и предназначено для присоединения заземления к мачте через гибкий круглый токопроводник (5) диаметром не менее 8 мм (или из полосовой стали с поперечным сечением не менее 33 мм²). Способ соединения частей молниеотвода между собой, контактным соединением и мачтой осуществляется посредством сварки. Длина сварного шва между мачтой молниеотвода и контактным соединением должна быть не менее шестикратного диаметра круглых проводов или двойной ширины прямоугольных полос. Площадь контакта (между мачтой и гибким токопроводником) должна быть не менее удвоенной площади сечения токоотвода. С целью обеспечения устойчивости молниеотвод снабжается у основания мачты бетонным грузом (6), представляющим собой цилиндр с цент-

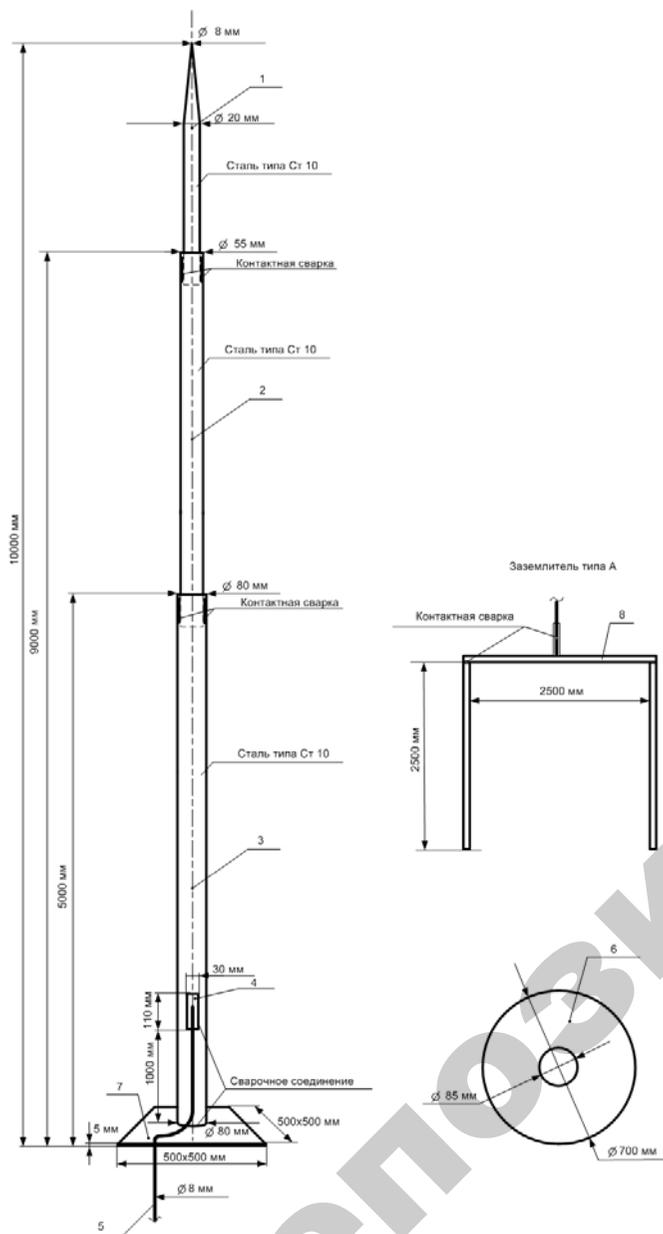


Рис. 4.1. Молниеотвод с максимально ориентированным уровнем молниезащиты

трально-поперечной цилиндрической полостью, помещаемый поверх опоры (7). Опора – прямоугольная металлическая пластина, соединенная с цельнометаллическим стержнем сварным соединением и предназначенная для фиксации на цельнометаллическом стержне груза, а именно: в толще грунта выполняют цилиндрическое либо прямоугольное углубление, необходимое и достаточное для плотного контакта стержня заземлителя с грунтом и устойчивого горизонтального положения опоры. Поверх опоры помещают бетонный груз.

Техническим результатом молниеотвода считается исключение его отклонения от его вертикальной оси, что обеспечивает заложенную в проекте эффективность молниезащиты с нормированной надежностью защиты.

Молниеотвод устанавливается на расстоянии не менее 3 м от объекта защиты (рис. 4.2). Основание молниеотвода вместе с грузом помещается в специально вырытый котлован размерами 1×1 м на глубину не менее 0,5 м. Молниеотвод должен обеспечивать угол защиты по ТКП 336-2011 не ниже, чем для III уровня молниезащиты.

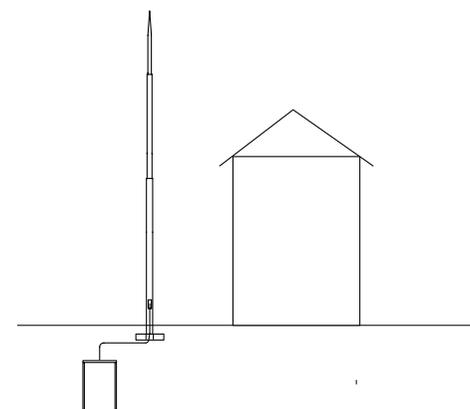


Рис. 4.2. Схематическое устройство молниеотвода с прогнозными показателями эффективности его работоспособности относительно объекта защиты

В котлован в целях обеспечения должной электропроводности допускается помещать токопроводящую присыпку (например, древесный уголь). Заземление молниеотвода выполняется типом заземлителя А по [27].

Размещение заземлителя типа А включает в себя горизонтальные вертикальные электроды (8). Общее количество электродов должно быть не менее двух. Минимальная длина вертикальных электродов должна быть не менее 2,5 м, сопротивление заземляющего устройства в любое время года не должно быть больше 10 Ом. В случае необходимости предлагается забить дополнительное количество заземляющих электродов.

Нормируемое сопротивление заземлителя молниеотвода [27] составляет 10,00 Ом. Контур заземления состоит из вертикальных электродов, присоединенных к горизонтальной полосе (рис. 4.3–4.4). В качестве вертикальных заземлителей принимаем электроды с размером 18,00 мм и длиной 3,50 м, которые погружаются в грунт. Верхние концы электродов располагаем на глубине 0,50 м от поверхности земли. К ним привариваются горизонтальные электроды из той же стали, что и вертикальные электроды.

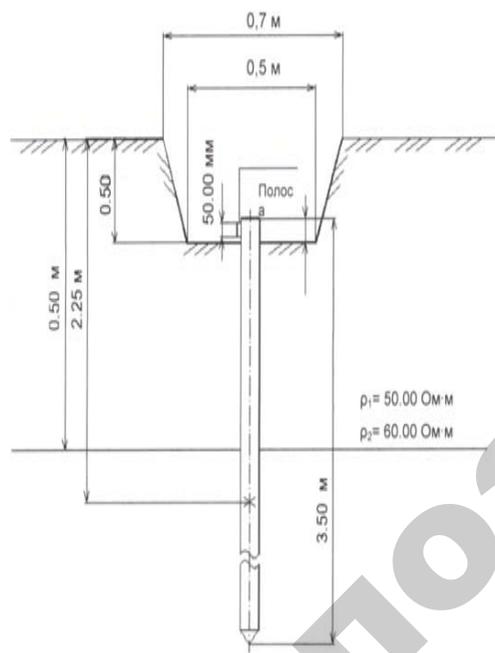


Рис. 4.3. Установка одиночного заземлителя в двухслойном грунте

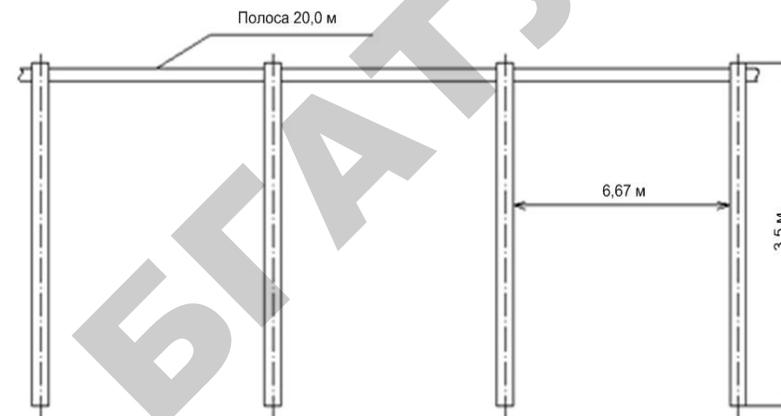


Рис. 4.4. Конструкция заземляющего устройства

Исходные данные для расчета параметров заземления молниеотвода приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Исходные данные для расчета параметров молниеотвода

Обозначение	Наименование	Ед. изм.	Значение
R_i	Нормируемое сопротивление растеканию тока в землю	Ом	10,00
ρ_1	Удельное сопротивление верхнего слоя грунта	Ом·м	50,00
ρ_2	Удельное сопротивление нижнего слоя грунта	Ом·м	60,00
d	Диаметр стержня	мм	18,00
L	Длина вертикального заземлителя	м	3,50
H	Толщина верхнего слоя грунта	м	0,50
$t_{\text{полосы}}$	Глубина заложения горизонтального заземлителя	м	0,50
t	Расстояние от поверхности земли до середины заземлителя	м	2,25
k_1	Климатический коэффициент для вертикальных электродов	—	1,65

Окончание табл. 4.1

Обозначение	Наименование	Ед. изм.	Значение
k_2	Климатический коэффициент для горизонтальных электродов	–	4,00
b	Ширина стальной полосы	мм	50,00
l_r	Длина горизонтального заземлителя	м	20,00

Удельный расчетный коэффициент сопротивления двухслойного грунта определялся по формуле

$$\rho = \frac{(\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L)}{(\rho_1 \cdot (L - H + t_{\text{полосы}}) + \rho \cdot (H - t_{\text{полосы}}))}, \quad (4.1)$$

$$\rho = \frac{(50,00 \cdot 60,00 \cdot 3,50)}{(50,00 \cdot (3,50 - 0,50 + 0,50) + 60,00 \cdot (0,50 - 0,50))} = 60,00 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Сопротивление растеканию одного вертикального электрода находили по формуле

$$r_b = \frac{0,366 \cdot k_1 \cdot \rho}{L} \cdot \left(\lg \left(\frac{2L}{0,95d} \right) + \frac{1}{2} \lg \left(\frac{4t + l}{4t - L} \right) \right), \quad (4.2)$$

$$r_b = \frac{0,366 \cdot 1,65 \cdot 60,00}{3,50} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot 3,50 \cdot 1000}{0,95 \cdot 18,00} \right) + \frac{1}{2} \lg \left(\frac{4 \cdot 2,25 + 3,50}{4 \cdot 2,25 - 3,50} \right) \right) = 28,89 \text{ Ом}.$$

Предполагаемое количество вертикальных заземлителей определяли по формуле

$$n_{\text{пр}} = \frac{r_b}{R_n \cdot \eta_b}, \quad (4.3)$$

где η_b – коэффициент использования вертикальных заземлителей.

$$n_{\text{пр}} = \frac{28,89}{10,00 \cdot 0,72} = 5 \text{ шт.}$$

Параметры вертикальных и горизонтальных заземлителей приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Параметры вертикальных и горизонтальных заземлителей

Обозначение	Наименование	Ед. изм.	Значение
η_b	Коэффициент использования вертикальных заземлителей	–	0,72
η_r	Коэффициент использования горизонтальных электродов	–	0,79
h	Расстояние между заземлителями	м	6,67

Сопротивление горизонтального заземлителя вычислялось по формуле

$$r_r = \frac{0,366 \cdot k_2 \cdot \rho}{l_r \cdot \eta_r} \cdot \lg \left(\frac{2l_r^2}{b \cdot t_{\text{полосы}}} \right), \quad (4.4)$$

$$r_r = \frac{0,366 \cdot 4,00 \cdot 60,00}{20,00 \cdot 0,79} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 20,00 \cdot 1000}{50,00 \cdot 0,50} \right) = 25,09 \text{ Ом}.$$

Полное сопротивление вертикальных заземлителей R не должно превышать значения, определяемого по формуле

$$R = \frac{R_n \cdot r_r}{r_r - R_n}. \quad (4.5)$$

Уточненное количество вертикальных заземлителей с учетом соединительной полосы определяется по формуле

$$n = \frac{r_b}{R \cdot \eta_b}, \quad (4.6)$$

$$n = \frac{28,89}{16,63 \cdot 0,72} = 3 \text{ шт.}$$

Таким образом, приняты к установке 3 вертикальных заземлителя, общая длина горизонтального заземлителя – 20,00 м, среднее расстояние между вертикальными заземлителями – 6,67 м.

Окончательное расстояние между вертикальными заземлителями вдоль соединительной полосы указывается на плане заземляющего устройства.

По расчетным параметрам молниеотвода разработана конструкция молниеотвода с повышенными характеристиками функционирования (рис. 4.1). Изготовление молниеотвода проводилось в рамках задания 2.9 НИОКР НИИ ПБиЧС «Научное обоснование оптимальных технических средств защиты от прямых ударов молнии зданий и сооружений, разработка экспериментального отечественного образца молниеотвода» (№ госрегистрации 20140450).

Исследования проводились с целью определить рациональные показатели применения разработанной конструкции. Оценивалась возможность размещения молниеотвода высотой 10 м относительно защищаемого объекта. Угол защиты молниеотвода обеспечивался по III уровню молниезащиты. Центром конуса зона защиты молниеотвода являлась его ось. При этом расстояние от молниеотвода до объекта составляло 3 м.

Объектами молниезащиты послужили типовые проекты объектов агропромышленного комплекса, которые отобраны с учетом статистических сведений по пожарам: телятники, коровники, конюшни, свинарники и утятники. Всего при проведении исследований рассмотрено 8 объектов молниезащиты. Все объекты молниезащиты имели разные геометрические размеры.

В результате исследований [91–92] установлено, что молниеприемники с прогнозными показателями их эффективности целесообразно использовать для защиты от прямого удара молнии. При этом прямоугольное здание свинарника на 1 200 голов длиной, шириной и высотой соответственно 72, 12 и 6,46 м (типовой проект № 61–58-А) обеспечивается молниезащитой при условии размещения на расстоянии 3 м от его периметра 3 молниеотводов высотой 20 м, 6 – высотой 15 м и 10 – высотой 12 м.

Наблюдения проводились на площадках в Минском и Мядельском районах (рис. 4.5–4.6). Площадки расположены на равнинной местности, тип грунта – песок.

Число грозодней в районах, где были установлены экспериментальные образцы молниеотводов, принималось равным 24 [2].



Рис. 4.5. Установка экспериментального образца молниеотвода с максимально регламентируемым уровнем молниезащиты (площадка в д. Боровляны Минского района)

Для монтажа молниеотвода была задействована специальная техника и рабочая бригада в количестве 3-х человек. Перед монтажом молниеотвода было выбрано место установки – ровная наземная поверхность без растительности (кустарников и деревьев) и наличия инженерных коммуникаций над и под местом установки.

В месте установки при помощи специальной техники буром было выкопана яма глубиной 1,5 м и диаметром до 20 см. Далее диаметр ямы был расширен до 100 см и в нее механизированным способом был установлен молниеотвод. Инструментальным способом молниеотвод был выровнен по вертикальной оси, засыпан грунтом, после чего был выполнен повторный инструментальный замер его вертикальной оси.



Рис. 4.6. Установка экспериментального образца молниеотвода с максимально регламентируемым уровнем молниезащиты (площадка в Мядельском районе Минского района)

Результаты исследований функционирования экспериментальных образцов молниеотвода приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

План и результаты исследований экспериментального образца молниеотвода

Номер наблюдения	Отметки	Горизонталь q_x , дел.	Вертикаль q_y , дел.	$v_{ср}$, дел./неделя
02.07.2014 / первоначальное	Нижняя	7	29,5	0
	Верхняя	6,1	-0,4	
09.07.2014 / систематическое	Нижняя	7	29,73	$v_{срх} = 0,09$ $v_{срy} = 0,025$
	Верхняя	6,19	-0,425	
16.07.2014 / систематическое	Нижняя	7	29,5	$v_{срх} = 0,16$ $v_{срy} = 0,002$
	Верхняя	6,26	-0,427	
23.07.2014 / систематическое	Нижняя	7	29,5	$v_{срх} = 0,02$ $v_{срy} = 0,002$
	Верхняя	6,28	-0,429	
30.07.2014 / систематическое	Нижняя	7	29,5	$v_{срх} = 0,02$ $v_{срy} = 0,001$
	Верхняя	6,3	-0,43	
06.08.2014 / систематическое	Нижняя	7	29,5	0
	Верхняя	6,3	-0,43	
13.08.2014 / систематическое	Нижняя	7	29,52	$v_{срх} = 0,02$ $v_{срy} = 0,02$
	Верхняя	6,32	-0,434	
14.08.2014 / внеплановое*	Нижняя	7	29,71	$v_{срх} = 0,11$ $v_{срy} = 0,19$
	Верхняя	6,43	-0,47	

* 14.08.2014; температура воздуха +19–+25 °С, ветер – северо-западный, гроза, ливень.

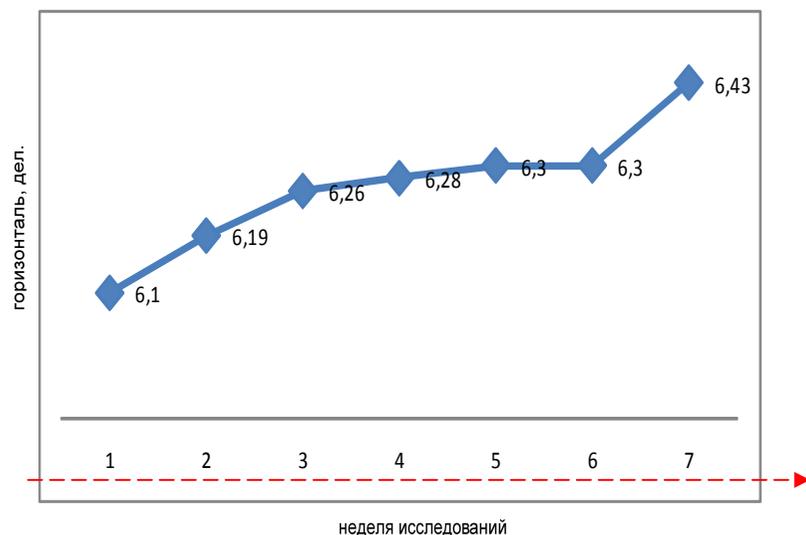


Рис. 4.7. Результаты исследований экспериментального образца молниеотвода (площадка в д. Боровляны Минского района)

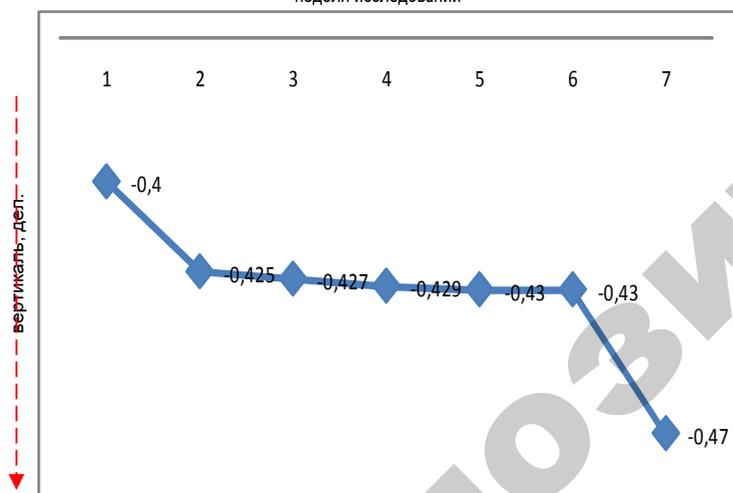


Рис. 4.8. Результаты исследований экспериментального образца молниеотвода (площадка в д. Боровляны Минского района)

Из рис. 4.7 и 4.8 следует, что скорость наклона исследуемого молниеотвода за 6 недель наблюдений составляет 0,0047 деле-

ний/день, скорость перекосов молниеотвода – 0,00071 делений/день. После неблагоприятных погодных условий и внеплановых наблюдений 14.08.2014 г. скорость наклона исследуемого молниеотвода составила 0,0022 делений/день, скорость перекосов молниеотвода – 0,0038 делений/день.

На основании предварительных результатов исследований в 2014 г. установлено, что нижняя отметка на молниеотводе по горизонтали относительно плоскости земли не смещается, а смещается исключительно вертикальная отметка, что обусловлено динамической деформацией металла вследствие ветровых нагрузок. С учетом паспортных сведений используемого теодолита по определению величины смещения в мм, а также полученной средней скорости наклона установлено, что горизонтальная отметка относительно первоначальных наблюдений смещалась на 0,027 мм/неделя, что в среднем в первый год наблюдений составило 1,4 мм.

Относительно вертикали смещаются как нижняя, так и верхняя отметки, что обусловлено просадкой грунта. С учетом паспортных сведений теодолита и полученной средней скорости перекоса установлено, что вертикальная отметка относительно первоначальных наблюдений смещалась на 0,06 мм/неделя, что в среднем в первый год наблюдений составило 3,2 мм.

При прогнозировании зоны защиты молниеотвода по указанным среднегодовым значениям наклонов и перекосов можно отметить, что зона защиты молниеотвода с характеристиками, определенными по III уровню [27], будет отличаться в меньшую сторону от проектной в среднем на 22 см.

Оценка эффективности разработанного программного средства (ПС) для определения параметров молниезащиты зданий и сооружений осуществлялась путем хронометража выполнения соответствующих операций как общедоступными средствами, так и с помощью ПС. В эксперименте участвовали 10 работников, использующих в своей практической деятельности ТКП 336-2011 [27], обладающих необходимыми профессиональными навыками работы. В качестве объекта исследований было принято расположенное в сельской местности отдельно стоящее жилое здание из горючих строительных конструкций с котельным оборудованием на газообразном топливе. Результаты проведенных исследований (табл. 4.4) показали следующее:

– при использовании общедоступных средств вычислительной техники разница в продолжительности решения поставленной за-

дачи между работниками, обладающими навыками расчета параметров молниезащиты и не имеющими таковых, составляет соответственно 84–92 и 195–240 мин;

– при использовании разработанного программного средства продолжительность выполнения расчета параметров молниезащиты сокращается в 8–10 раз.

Таблица 4.4

Результаты хронометража трудозатрат на определение продолжительности расчета параметров молниезащиты

Порядковый номер работника	Тип здания	Наличие навыков расчета	Продолжительность выполнения расчета, мин, с использованием:	
			общедоступных средств	разработанного программного средства
1	Жилой дом	Имеет	84	17
2			86	17
3			90	18
4			84	17
5			92	18
6		Не имеет	270	25
7			255	23
8			195	23
9			210	22
10			240	21

Анализ состояния причинно-следственных связей пожаров на объектах АПК от ударов молнии, пространственно-временного распределения опасных метеорологических явлений на территории республики позволил определить молнию как опасное природное явление, которое может привести к пожару, поражению человека током молнии, выходу из строя инженерного и технологического оборудования.

Основные причины ежегодных пожаров – отсутствие должного контроля со стороны субъектов хозяйствования в области обеспечения должного функционирования молниезащиты (нарушения устройства молниезащиты), недоработка требований технических нормативных правовых актов в области действенных мер к поддержанию устойчивого функционирования молниезащиты в надлежащем состоянии.

Проведенными исследованиями установлено, что максимальная устойчивость объекта защиты к возникновению пожаров от разрядов молнии, следовательно, наилучшая молниезащита ($\approx 97\%$) обеспечивается тогда, когда молниеотвод – отдельно стоящий, имеет площадь сечения в верхней точке не менее 50 мм^2 , крайняя точка зоны защиты молниеотвода на 36 см выше (далее) наиболее удаленной высокой точки объекта защиты. При этом объект АПК (объект защиты) должен иметь относительно небольшую высоту (до 5 м) и должен быть выполнен из негорючих либо трудногорючих веществ и материалов.

Полученные результаты теоретических исследований по оптимальному устройству молниеотвода, патентного поиска конструкций средств и способов защиты зданий и сооружений от прямых ударов молнии позволили обосновать техническое решение, разработать конструкторскую документацию и изготовить экспериментальный образец молниеотвода. Молниеотвод изготовлен и смонтирован на площадке для проведения исследований. В течение грозового сезона за ним проводились наблюдения. По результатам наблюдений было установлено, что в реальных условиях эксплуатации ось молниеотвода отклоняется. При этом уменьшается размер зоны защиты. По результатам наблюдений можно также отметить, что зона защиты молниеотвода с характеристиками, определенными по III уровню молниезащиты согласно [27], на 22 см уменьшается только за первый год его эксплуатации.

Предложенное техническое решение по снижению влияния грозовых проявлений на объекты АПК, по мнению авторов, позволит обеспечивать зону защиты молниеотвода без существенных отклонений от вертикальной оси и обеспечивать прием тока молнии без последствий для защищаемого объекта.

С учетом действия ТКП 336-2011, для того чтобы снизить продолжительность выполнения инженерных расчетов по определению необходимости устройства и параметров молниезащиты зданий и сооружений, освободить работников надзора и проектировщиков от рутинной работы по оценке необходимости устройства молниезащиты вручную, снизить вероятность ошибочных решений и повысить качество экспертных оценок и рекомендаций в области молниезащиты, разработано программное средство (свидетельство о регистрации компьютерной программы № 643 от 07.03.2014) [87].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов, В.Ф. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, И.Н. Шпока. – Минск : Бел. наука, 2010. – 129 с.

2. Шпока, И.Н. Пространственно-временное распределение опасных метеорологических явлений на территории Беларуси : автореф. дис. ... канд. географ. наук : 25.00.30 / И.Н. Шпока; Институт природопользования. – Минск, 2012. – 23 с.

3. Волчек, А.А. Закономерности формирования опасных метеорологических явлений на территории Белоруссии / А.А. Волчек, И.Н. Шпока // Ученые записки Рос. государств. гидрометеорологического ун-та : науч.-теоретич. журнал. – 2011. – № 17. – С. 64–88.

4. Логинов, В.Ф. Оценка роли разных факторов в формировании гроз на территории Беларуси / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, И.Н. Шпока // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 3. – С. 28–35.

5. Логинов, В.Ф. Изменчивость числа дней с грозами на территории Беларуси / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, И.Н. Шпока // Природопользование : сб. науч. тр. Вып. 12 / Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии Нац. акад. наук Беларуси; под ред. И.И. Лиштвана, В.Ф. Логинова. – Минск, 2006. – С. 33–39.

6. Волчек, А.А. Изменчивость количества гроз на территории Беларуси / А.А. Волчек, И.Н. Шпока // Экологические проблемы Полесья и сопредельных территорий : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, октябрь 2003 г. – Гомель, 2003. – С. 35–37.

7. Шпока, И.Н. Изменчивость количества гроз на территории Беларуси / И.Н. Шпока // VII Межвуз. науч.-метод. конф. молодых ученых, посвящ. 60-летию ун-та : сб. материалов, Брест, 20 мая 2005 г. / Брест. гос. ун-т; под общ. ред. А. А. Горбацкого. – Брест, 2005. – С. 109–110.

8. Логинов, В.Ф. Географические особенности распределения гроз и шквалов на территории Беларуси / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, И.Н. Шпока // Природопользование : сб. науч. тр. Вып. 15 / Ин-т природопользования НАН Беларуси; гл. ред. А. К. Карабанов. – Минск, 2009. – С. 42–49.

9. Скрипко, А.Н. Анализ влияния грозových проявлений на пожарную опасность животноводческих ферм и комплексов / А.Н. Скрипко, Л.В. Мисун, В.Н. Дашков // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 1 (31). – С. 37–43.

10. Мисун, Л.В. Анализ влияния грозových проявлений на пожарную опасность зданий и сооружений / Л.В. Мисун, А.Н. Скрипко // Агропанорама. – 2010. – № 3. – С. 52–58.

11. Скрипко, А.Н. Совершенствование методической базы по предупреждению пожаров от грозových проявлений на территории Республики Беларусь / А.Н. Скрипко, Л.В. Мисун, // Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы XXII Междунар. науч. практич. конф. – Москва, май 2010 г. : в 3 ч. / ВНИИПО; редкол.: Е. Ю. Сушкина [и др.]. – Москва, 2010. – Ч. 1. – С. 138–141.

12. Скрипко, А. Н. Сравнительный анализ отечественной и международной нормативно-технической документации, регламентирующей требования к устройству молниезащиты зданий и сооружений / А.Н. Скрипко., Л.В. Мисун, А.И. Федорчук, Н.Е. Шевчик // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – Минск, 2009. – № 1 (25). – С. 49–60.

13. Мисун, Л.В. Вопросы обеспечения безопасности объектов АПК при воздействии на них грозových проявлений / Л. В. Мисун, А. Н. Скрипко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–20 окт. 2010 г. В 2 т. Т. 2 / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства»; редкол.: П. П. Казакевич (гл. ред.), О.О. Дударев. – Минск, РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2010. – С. 299–304.

14. Скрипко, А.Н. Состояние и причинно-следственная связь грозových проявлений при возникновении пожаров на объектах агропромышленного комплекса / А. Н. Скрипко // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–6 июня 2014 г. В 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. И. Н. Шило, Н. А. Лабушева. – Минск : БГАТУ, 2014. – С. 432–434.

15. Скрипко, А.Н. Направление по совершенствованию комплекса мер по молниезащите на складах нефти и нефтепродуктов при воздействии на них грозových проявлений / А.Н. Скрипко, Л.В. Мисун // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2011. – № 2. – С. 90–99.

16. Безродный, И.Ф. Тушение нефти и нефтепродуктов : пособие / И. Ф. Безродный, А. Н. Гилетич, В. А. Меркулов / М. : ВНИИПО, 1996. – 216 с.

17. Защита от атмосферного электричества: СТБ П ИЕС 62305–1–2006/2010. – Введ. 01.01.2011. – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2011. – Ч. 1: Общие принципы. – 47 с.

18. Защита от атмосферного электричества: СТБ П ИЕС 62305–2–2006/2010. – Введ. 01.01.2011. – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2011. – Ч. 2: Управление риском. – 78 с.

19. Защита от атмосферного электричества: СТБ П ИЕС 62305–3–2006/2010. – Введ. 01.01.2011. – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2011. – Ч. 3: Физические повреждения зданий, сооружений и опасность для жизни. – 121 с.

20. Защита от атмосферного электричества: СТБ П ИЕС 62305–4–2006/2010. – Введ. 01.01.2011. – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2011. – Ч. 4: Электрические и электронные системы внутри зданий и сооружений. – 76 с.

21. IEC 62305-1 Protection against lightning – Part 1: Protection of Structures Against Lightning: General Principles. – Geneva : IEC Central office, 2006. – 140 p.

22. IEC 62305-2 Protection against lightning – Part 2: Risk Management. – Geneva : IEC Central office, 2006. – 224 p.

23. IEC 62305-3 Protection against lightning. – Part 3: Physical damages to structures and life hazard. – Geneva : IEC Central office, 2006. – 312 p.

24. IEC 62305-4 Protection against lightning – Part 4: Electrical and Electronic Systems within Structures. – Geneva : IEC Central office, 2006. – 207 p.

25. Об утверждении Правил технической эксплуатации складов нефтепродуктов : постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 30 сент. 2004 г., № 31 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2004. – 8/11548 (07.10.2004).

26. СТБ 2255-2012 Система проектной документации для строительства: основные требования к документации строительного проекта. – Введ. 12.03.2012. – Минск : НПП РУП Стройтехнорм, 2012. – 38 с.

27. ТКП 336-2011 Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций. – Введ. 01.11.2011. – Минск : филиал «Информационно-издательский центр ОАО «Экономэнерго», 2011. – 187 с.

28. СТП 09110.47.103-07 Методические указания по проектированию заземляющих устройств на электрических станциях и подстанциях напряжением 35-750 кВ. – Введ. 11.10.2007. – Минск : РУП «БелТЭИ», 2007. – 76 с.

29. СТП 09110.47.203-07 Методические указания по выполнению заземления электрических станций и подстанций напряжением 35–750 кВ. – Введ. 31.03.2008. – Минск : РУП «БелТЭИ», 2008. – 152 с.

30. Склады нефти и нефтепродуктов: СНБ 3.02.01–98. – Введ. 01.01.1999. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 1999. – 24 с.

31. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений : РД 34.21.122–87: утв. Главтехуправлением Минэнерго СССР 12.10.1987 : текст по состоянию на 12 окт. 2006 г. – Минск, 2006.

32. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.

33. ТКП 181-2009 (02230). Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Введ. 20.05.2009. – Минск : ЧУП «Инженерный центр» ОО «БОИМ», 2009. – 325 с.

34. ТКП 45-1.03-59-2008 Приемка законченных строительством объектов. Правила проведения. – Введ. 27.11.2008. – Минск : НПП РУП Стройтехнорм, 2009. – 29 с.

35. СНБ 1.03.02-96. Состав, порядок разработки и согласования проектной документации в строительстве : строительные нормы. – Утверждены 04.10.96. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 1996. – 24 с.

36. Криксин, П. В. Защита от прямых ударов молнии / Энергия и менеджмент. – 2014. – № 4–5 [79–80]. – С. 24–31.

37. Левин, А.Л. О выполнении требований ТКП 366-2011 Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций / Энергия и менеджмент. – 2012. – № 1 [64]. – С. 28.

38. Писаревский, С.Ю. Выбор оптимальных проектных решений в САПР средств молниезащиты промышленных объектов на основе имитационного моделирования / С.Ю. Писаревский // В сб. тр. «Вестник Воронежского государственного технического университета». – 2010. – Т. 6. – № 2. – С. 136–140.

39. Кузнецов, Г.В. Математическое моделирование загорания дерева хвойной породы наземным грозовым разрядом /

Г.В. Кузнецов, Н.В. Барановский // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – Том 17. – № 3. – С. 41–45.

40. Барановский, Н.В. Влияние антропогенной нагрузки и грозовой активности на вероятность возникновения лесных пожаров / Н.В. Барановский // Сибирский экологический журнал. – 2004. – № 6. – С. 835–842.

41. Базелян, Э.М. Физика молнии и молниезащиты / Э.М. Базелян, Ю.П. Райдер. – М. : Физматлит, 2001. – 319 с.

42. Веревкин, В.Н. Электростатическая искробезопасность и молниезащита / В.Н. Веревкин, Г.И. Смелков, В.Н. Черкасов. – М. : МИЭЭ, 2006. – 170 с.

43. Рекомендации по предупреждению пожаров от грозových проявлений. – Минск : НИИ ПБ и ЧС МЧС Республики Беларусь, 2010. – 30 с.

44. Александров, Н.Л. Инициирование молнии от объектов в атмосферу // Н.Л. Александров, Э.М. Базелян, А.М. Кончаков, Ю.П. Райзер // Материалы XXXIII Междунар. конф. по физике плазмы и УТС, 13–17 февраля 2006 г. – Звенигород, 2006. – С. 27.

45. Писаревский, С.Ю. Имитационное моделирование процесса воздействия молнии на промышленные объекты / С.Ю. Писаревский, Ю.В. Писаревский // Электротехнические комплексы и системы управления : науч.-техн. журнал. – Воронеж : Издательский дом «Кварта», 2009. – № 4. – С. 59–64.

46. Резинкина, М.М. Использование математического описания развития лидерного канала молнии для выбора параметров модельных экспериментов и средств молниезащиты / М.М. Резинкина, В.В. Князев, В.И. Кравченко // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77. – № 4. – С. 44–48.

47. СО-153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 57 с.

48. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. – Введ. 27.06.2008. – Киев : Минрегионстрой Украины, 2008. – 51 с.

49. Грозозащитный трос : пат. 93178 Российской Федерации на полезную модель, МПК (2006.01) Н 01 В5/08, Н 01 В7/00 / Э. А. Боксимер, М.Э. Боксимер, Р.Р. Абаев, А.В. Таранов, А.Ю. Слугин, Д.В. Зотов; заявитель «Саранскабель–оптика». – № 2009148502/22; заявл. 25.12.2009; опубл. 20.04.2010.

50. Грозозащитный трос : пат. 2361304 Российской Федерации на изобретение, МПК Н 01 В5/08 (2006.01) / В.В. Петрович, В.А. Фокин, А.К. Власов, В.И. Фролов, А.В. Звягинцев, А.Н. Жулев; заявитель Петрович В.В. – № 2008122713/09; заявл. 04.06.2008; опубл. 10.07.2009.

51. Молниеотвод с ускоренной ионизацией воздуха : пат. 2336617 Российской Федерации на изобретение, МПК Н 02 G 13/00 / Э. Смыч; заявитель Смыч Э. – № 2006133827/09; заявл. 08.12.2004; опубл. 20.10.2008.

52. Молниеотвод : пат. 5252 Республики Беларусь на полезную модель, МПК (2006) Н 05 F 3/02 / П.П. Ивасюк, И.Г. Вдовиченко; заявитель Брестский гос.техн.ун-т. – № 20080793; заявл. 24.10.2008; опубл. 30.04.2009.

53. Устройство для молниезащиты : пат. 2382464 Российской Федерации на изобретение, МПК (2006.01) Н 02 Н9/04 / А.Ж. Туктаров, С.В. Нерсисян, Э.М. Базелян; заявитель ОАО «ЭНИК». – № а 2009102066/09; заявл. 23.01.2009; опубл. 20.02.2010.

54. Сетчатый молниеотвод : пат. 2352042 Российской Федерации на изобретение, МПК (2006.01) Н 02 G 13/00 / Е.В. Халин, Д.С. Стребков, С.И. Коструба, М.О. Этрекова; заявитель Всероссийский научн.-исследоват. инст-т электриф. сельск. хоз-ва. – № а 2008103215/09; заявл. 01.02.2008; опубл. 10.04.2009.

55. Молниеотвод : пат. 2208887 Российской Федерации на изобретение, МПК Н 02 G 13/00, Н 02Н9/06 / В.М. Матвеев, С.В. Насонов, Ю.В. Писаревский; заявитель Финансово-промышленная компания «Космос-Нефть-Газ». – № 2002116902/09; заявл. 24.06.2002; опубл. 20.07.2003.

56. Improvement in lightning – rogs : пат. 193.991 США на изобретение / Patterson W. William; заявл. 30.04.1877; опубл. 07.08.1877.

57. Polarized Lightning Arrestors : patent 2011/0013333 F1 United States / A. Roderick, Y. Muriel, T. Jordin, Thomas Allan, L. Lowell, Y.H. Victoria; filed: Oct. 16, 2009; pub. Date: Jan. 20, 2011.

58. Молниезащитное устройство взрывоопасных объектов : пат. 2419938 Российской Федерации на изобретение, МПК (2006.01) Н02G 13/00/ А.В. Герасимов, А.С. Артемов, О.В. Сапронов, А.В. Тихоненков, Л.А. Свекло; заявитель Герасимов А. В.; заявл. 12.05.2010; опубл. 27.05.2010.

59. Способ активной молниезащиты зданий, сооружений и территорий : пат. 2467443 Российской Федерации на изобретение, МПК

(2006.01) H02G 13/00 / В.М. Матвеев, С.В. Насонов, Ю.В. Писаревский; заявитель Матвеев В. М.; заявл. 21.12.2011; опубл. 20.11.2012.

60. Молниеотвод : пат. 88862 Российской Федерации на полезную модель, МПК (2006.01) H 02 N9/06, H 02G 13/00 / Н.В. Борчуков, Л.Н. Горбунова, С.А. Потехин, Д.З. Шигапов, О.Н. Русак; заявитель Сибирский федеральный университет. – № и 2009124243/22; заявл. 24.06.2009; опубл. 20.11.2009.

61. Молниезащитное устройство : заявка 98115149/09А Российской Федерации на изобретение, МПК H02G 13/00 / Ю.И. Солуянов, Ю.Л. Селиванов, Е.Ф. Хомицкий, Д.Р. Шерман, В.И. Солнцев; заявитель Солуянов Ю. И.; заявл. 06.08.1988; опубл. 10.06.2000.

62. Устройство молниезащиты: заявка 2000125932А Российской Федерации на изобретение, МПК H01T 23/00 / И.В. Журавков, В.В. Стариков; заявитель Журавков И.В.; заявл. 17.10.2000; опубл.10.10.2002.

63. Устройство молниезащиты : заявка 2002133826А Российской Федерации на изобретение, МПК H02G 13/00 / В.М. Матвеев, С.В. Насонов, Ю.В. Писаревский, А.А. Репин, А.П. Шевцов, И.Г. Лачугин; заявитель Финансово-промышленная компания «Космос-Нефть-Газ»; заявл. 15.12.2002; опубл.10.06.2004.

64. Молниеотвод : заявка 96108447А Российской Федерации на изобретение, МПК H 01T9/00, H 02N9/06 / С.В. Насонов, Ю.В. Писаревский, А.И. Свиридов; заявитель Насонов С.В. [и др.]; заявл. 24.04.1996; опубл. 10.12.1997.

65. Молниеотвод : заявка 2007134313 А Российской Федерации на изобретение, МПК H 02G 13/00 (2006.01) / П. Цальманн, Р. Броеке, К.-П. Мюллер; заявитель «Дэн+Зене ГМБХ + Ко. КГ»; заявл. 22.03.2005; опубл. 27.04.2009.

66. Молниеотвод : пат. 2090968 Российской Федерации на изобретение, МПК H 02N9/04 / С. В. Насонов, Ю.В. Писаревский; заявитель Насонов С.В., Ю.В. Писаревский. – № 95107825/07; заявл. 15.05.1995; опубл. 20.09.1997.

67. Молниеотвод : пат. 2186448 Российской Федерации на изобретение, МПК H 02G13/00 / Ю.В. Писаревский, С.В. Насонов, П.Ю. Беляков, Ю.А. Перцев; заявитель Научно-производственное предприятие «Спектр». – № 2001100224/09; заявл. 03.01.2001; опубл. 27.07.2002.

68. Молниеотвод : пат. 2101819 Российской Федерации на изобретение, МПК H 01T 9/00, H 02N9/06 / С. В. Насонов, Ю.В. Писаревский, А.И. Свиридов; заявитель Насонов С.В. [и др.]. – № 96108447/09; заявл. 24.04.1996; опубл. 10.01.1998.

69. Способ предотвращения пожара от молнии и устройство для его осуществления : заявка 98115337 А Российской Федерации на изобретение, МПК H02G 13/00 / Г.А. Батуев; заявитель Батуев Г.А.; заявл. 10.08.1998; опубл. 20.06.2000.

70. Способ защиты объекта от прямого поражения и проникновения в него шаровой молнии : заявка 96118731 А Российской Федерации на изобретение, МПК H02 N3/22 / Б.Н. Игнатов; заявитель Игнатов Б.Н.; заявл. 19.09.1996; опубл. 27.11.1998.

71. Способ защиты от разрядов атмосферного электричества (молний) путем улавливания и нейтрализации : заявка 2000125979 А Российской Федерации на изобретение, МПК H02 N3/22 / А.В. Аршин; заявитель Аршин А.В; заявл. 16.10.2000; опубл. 10.09.2002.

72. Универсальный способ защиты объекта от линейных, точечных и шаровых молний : пат. 2152695 Российской Федерации на изобретение, МПК H05F 3/02, H 02 G 13/00, H 02N3/22 / Б.Н. Игнатов; заявитель Игнатов Б.Н. – № 96118731/09; заявл. 19.09.1996; опубл. 10.07.2000.

73. Устройство активной молниезащиты и отбора энергии молнии : пат. 2277744 Российской Федерации на изобретение, МПК (206.01) H 02N3/22, H 02 G 13/00 / А.Н. Шпиганович, П.Н. Свиридов; заявитель Липецкий госуд. технич. ун-т. – № 2004105819/09; заявл. 26.02.2004; опубл. 10.06.2006.

74. Регистрация удара молнии : заявка 2009742 А Российской Федерации на изобретение, МПК В 64 Д 45/00 (2006.01) / Г.Э. Джорджсон, Г.Дж. Кларк, Д.Л. Дьюс, М.Д. Фогарти; заявитель «Дзе боинг компани»; заявл. 18.03.2009; опубл. 27.09.2010.

75. Способ и комплект измерительного оборудования для оценки электрических параметров молниезащиты систем : пат. 2334239 Российской Федерации на изобретение, МПК G 01R31/12 (206.01) / Э. Смыч; заявитель Смыч Э. – № 2005136861/28; заявл. 17.05.2004; опубл. 20.09.2008.

76. Мисун, Л.В. Обоснование организации и размещения элементов молниезащиты объектов АПК / Л.В. Мисун, А.Н. Скрипка // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, орга-

низации технического сервиса в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–6 июня 2014 г. В 2 ч. Ч. 1 / под общей ред. И.Н. Шило, Н.А. Лабушева. – Минск : БГАТУ, 2014. – С. 435–438.

77. Скрипко, А.Н. Моделирование устойчивого функционирования молниезащиты объектов агропромышленного комплекса / А.Н. Скрипко, Л.В. Мисун, Т.В. Верниковская // Пожарная безопасность и аварийно-спасательное дело: состояние, проблемы и перспективы : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Киев, 24–26 сентября 2013 г. – Киев, 2013. – С. 84–86.

78. Скрипко, А.Н. Подход к обеспечению повышения эффективности молниезащиты зданий и сооружений объектов агропромышленного комплекса / А.Н. Скрипко, Л.В. Мисун // Гражданская безопасность : доклады 6-ой Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1 / редкол.: Георги Ботев [и др.]. – София, 2011. – С. 174–176.

79. Карякин, Р.Н. Справочник по молниезащите / Р.Н. Карякин. – М. : Энергосервис, 2005. – 879 с.

80. Леонов, А.Н. Основы научных исследований и моделирования / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис. – Минск : БГАТУ, 2010. – 276 с.

81. Скрипко, А.Н. Исследование защиты объектов от воздействия грозных разрядов / А.Н. Скрипко, Л.В. Мисун, А.Н. Леонов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 1 (33). – С. 70–77.

82. Скрипко, А.Н. Результаты планирования отсеивающих экспериментов при решении задач исследования устойчивого функционирования молниезащиты объектов агропромышленного комплекса / А.Н. Скрипко, Л.В. Мисун, А.Н. Леонов // Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций : материалы Междунар. конф. / редкол.: Ю. С. Иванов [и др.]. – Минск, УП «Промбытсервис», 2013. – С. 230.

83. Скрипко, А.Н. Определение факторов устойчивого функционирования сельскохозяйственного объекта при воздействии на него грозных проявлений / А.Н. Скрипко, Л.В. Мисун // Актуальні проблеми технічних та соціально-гуманітарних наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту : Матеріали Міжнар. науково-практичної конф. Ч. I (секції 1, 2, 3), 3–4 квітня 2013 року, м. Черкаси. – Черкаси : АПБ імені Героїв Чорнобиля, 2013. – С. 117–119.

84. Скрипко, А.Н. К вопросу исследований устойчивого функционирования объекта агропромышленного комплекса при воздействии на него грозных проявлений / А.Н. Скрипко, Л.В. Мисун // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. курсантов, студентов, слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Минск, 4–5 апреля 2013 г. В 2 ч. Ч. 1. – Минск : КИИ, 2013. – С. 108–109.

85. Скрипко, А.Н. Анализ достаточности и определение направления оптимизации требований к молниезащите животноводческих ферм и комплексов / А.Н. Скрипко, Л.В. Мисун // Чрезвычайные ситуации: теория и практика : материалы Междунар. науч.-практ. конф. курсантов, студентов и слушателей, Гомель, 24–25 мая 2012 г. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Республики Беларусь, Гомел. инженер. ин-т МЧС Республики Беларусь, 2012. – С. 96–97.

86. Скрипко, А.Н. Организация и проведение эксперимента с целью изучения влияния грозных проявлений на пожарную опасность объектов сельского хозяйства / А.Н. Скрипко, Т.В. Верниковская, Л.В. Мисун, А.Н. Леонов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 2 (34). – С. 116–121.

87. Определение параметров молниезащиты зданий и сооружений по СТБ П ИЕС 62305-2-2006 2010 и ТКП 336 : компьютерная программа (свидетельство № 643 о регистрации в Национальном центре интеллектуальной собственности Республики Беларусь) / В.В. Горбачевский, В.К. Емельянов, А.Н. Скрипко; заявитель Научно-исслед. ин-т пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций Республики Беларусь. – Заявка № С 20140006; заявл. 05.02.2014; опублик. 07.03.2014 / Национальный центр интеллектуальной собственности Республики Беларусь.

88. Емельянов, В.К. Результаты разработки программного средства для автоматизации расчета параметров молниезащиты зданий и сооружений и исследования его эффективности / В.К. Емельянов, А.Н. Скрипко, В.В. Горбачевский // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 1 (33). – С. 44–49.

89. Ганьшин, В.Н. Геодезические работы при реконструкции промышленных предприятий / В.Н. Ганьшин, Б.И. Коськов, И.М. Репалов. – М. : Недра, 1990. – 201 с.

90. Зайцев, А.К. Геодезические методы исследования деформаций сооружений / А.К. Зайцев, С.В. Марфенко, Д.Ш. Михелев [и др.]. – М. : Недра, 1991. – 169 с.

91. Мисун, Л.В. Исследование защиты объектов АПК от воздействия грозových разрядов / Л.В.Мисун, А.Н. Скрипко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 16–17 окт. 2013 г. В 3 т. Т. 3 / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства»; редкол.: П.П. Казакевич (гл. ред.), С. Н. Поникарчик. – Минск : РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2014. – С. 286–290.

92. Скрипко, А.Н. О результатах исследований в области молниезащиты / А.Н. Скрипко, Л.В. Мисун, В.Н. Дашков // Энергия и менеджмент. – Минск, 2014. – № 6 (81). – С. 22–25.

Научное издание

**Мисун Леонид Владимирович,
Скрипко Алексей Николаевич**

СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРОЗОВЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Ответственный за выпуск *М. А. Прищепов*
Редактор *В. М. Воронович*
Компьютерная верстка *Е. Д. Богдан*
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 28.05.2015 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 6,74. Уч.-изд. л. 5,27. Тираж 100 экз. Заказ 240.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.