

УДК/UDC 621.316.98

DOI: <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2026-198-71-78>

EDN: HEMQSY

Научная статья/Original article

АЛГОРИТМ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

А. Г. Люtareвич✉, В. А. Ткаченко, Д. В. Бетев

Югорский государственный университет,
Россия, 628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

✉ l.alexander@inbox.ru

Важной научно-технической проблемой всегда будет оставаться разработка методов и алгоритмов расчета защиты различных элементов и объектов электроэнергетических систем от прямых ударов молнии или последствий попадания молнии в рядом расположенные сооружения. При этом актуальным является не только совершенствование нормативной и методической базы, но и разработка перспективных инновационных решений. Данные подходы применимы и для молниезащиты объектов энергетики, являющейся важной составляющей электромагнитной обстановки электрических подстанций.

Целью исследования является разработка алгоритма расчета молниезащиты объектов энергетики на основе синтеза существующих методов расчета с учетом действующей электромагнитной обстановки. Приведен обзор нормативных документов, а также аналогичных исследований в данной отрасли электроэнергетики. Анализ рассмотренных источников показывает, что при проектировании устройств молниезащиты различных объектов существуют разделы и области, требующие уточнения методик расчета параметров молниезащиты, представленных в действующих нормативных документах. На основании существующих методик проектирования молниезащиты предложен алгоритм расчета параметров элементов молниезащиты подстанции.

Представленный алгоритм может быть использован для разработки соответствующих программ, позволяющих рассчитывать и строить 3D-модель молниезащиты объектов электроэнергетики.

Ключевые слова: молниезащита, подстанция, молниеотвод, зона защиты, блок-схема, алгоритм расчёта, электромагнитная обстановка

Для цитирования: Люtareвич А. Г., Ткаченко В. А., Бетев Д. В. Алгоритм расчёта параметров молниезащиты объектов энергетики. *Омский научный вестник*. 2026. № 2 (198). С. 71–78. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2026-198-71-78>. EDN: HEMQSY.



© Люtareвич А. Г., Ткаченко В. А., Бетев Д. В., 2026.
Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

CALCULATION ALGORITHM FOR LIGHTNING PROTECTION PARAMETERS OF ENERGY FACILITIES

A. G. Lyutarevich✉, V. A. Tkachenko, D. V. Betev

Yugra State University, Chekhova St., 16, Khanty-Mansiysk, 628011, Russia

✉ l.alexander@inbox.ru

The development of methods and algorithms for calculating the protection of various elements and objects of electric power systems from direct lightning strikes or the consequences of lightning striking

nearby structures will always remain an important scientific and technical problem. Moreover, it is important not only to improve the regulatory and methodological framework, but also to develop promising innovative solutions. These approaches are also applicable to lightning protection of energy facilities, which is an important component of the electromagnetic environment of electrical substations.

The aim of the research is to develop an algorithm for calculating lightning protection for energy facilities, based on a synthesis of existing calculation methods taking into account the current electromagnetic environment. A review of regulatory documents and similar studies in this sector of the electric power industry is provided. An analysis of the reviewed sources shows that when designing lightning protection devices for various objects, there are sections and areas requiring clarification of the methods for calculating lightning protection parameters presented in current regulatory documents. Based on existing lightning protection design methods, an algorithm for calculating the parameters of substation lightning protection elements is proposed.

The presented algorithm can be used to develop appropriate programs that allow calculating and constructing a 3D model of lightning protection for power industry facilities.

Keywords: lightning protection, substation, lightning rod, protection zone, block diagram, calculation algorithm, electromagnetic environment

For citation: Lyutarevich A. G., Tkachenko V. A., Betev D. V. Calculation algorithm for lightning protection parameters of energy facilities. *Omsk Scientific Bulletin*. 2026;2(198):71–78. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2026-198-71-78>. EDN: HEMQSY. (In Russ.).



© Lyutarevich A. G., Tkachenko V. A., Betev D. V., 2026.
The content is available under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Введение

На объектах электроэнергетики электромагнитная обстановка достаточно сильно отличается от электромагнитной обстановки на промышленных предприятиях, в офисах, жилых помещениях и т. п. Как правило, это связано с наличием высоких значений напряженностей электрического и магнитного полей. Большое внимание уделяется молниезащите, так как молния является таким природным явлением, которое оказывает мощные электромагнитные возмущения на энергообъекты. Основным способом защиты электроэнергетических объектов является установка молниеотводов, которые могут быть как отдельно стоящими, так и установленными на конструкциях защищаемого объекта, например на порталах. Однако могут применяться и другие способы, так, например, в работе [1] рассматривается применение недорогих систем молниезащиты для небольших строений, жилых построек и автономных защитных сооружений. При ударе молнии в молниеотвод, который защищает распределительное устройство подстанции, могут происходить нарушения в работе систем автоматики и телемеханики. Поэтому в традиционной практике при расчете параметров молниезащиты определяют не только зоны защиты установленных молниеотводов, но еще и возможные последствия нарушения электромагнитной совместимости объектов. Помимо прочего, использование в последнее время различного дорогостоящего технологического оборудования делает вопросы молниезащиты наиболее актуальными. Указанные вопросы являются важными и в России, и в других странах мира.

Проводятся исследования по мониторингу грозовой активности в регионах России с использованием грозорегистраторов [2, 3]. При этом важными являются исследования по предупреждению грозовой опасности. Так, в своих исследованиях [4] авторы приводят значения тока в канале молнии, которые достигают 47 кА. Также вызывают интерес исследования [5], в которых рассматриваются аномальные процессы грозовой активности, когда

за сутки было зафиксировано порядка 60 тысяч молниевых разрядов.

Кроме того, интерес представляют исследования в области мониторинга данных о разрядах молний с применением данных, получаемых с помощью всемирной сети локализации молний, причем подобные исследования проводятся и в России [6], и за рубежом [7].

В работе [8] исследуются процессы влияния электромагнитного поля внутри подстанции, когда молния попадает в опору электропередачи, расположенную недалеко от подстанции. Представленные расчеты могут оказать помощь при разработке нормативных документов, а также при разработке мероприятий по смягчению последствий от ударов молнии.

Электрические подстанции являются объектами критической инфраструктуры, которые состоят из дорогостоящего оборудования. Попадание молний в такие объекты чаще всего сопровождается различными ущербами: технологическими или экономическими. В работе [9] произведена систематизация параметров и определение направлений исследований по разработке методов оценки риска определения уровня молниезащиты электрических подстанций. С помощью методов анализа и синтеза были выявлены и систематизированы параметры, влияющие на составляющие риска для энергетических объектов, при этом следует учитывать две составляющие: риск гибели людей и риск недоотпуска электрической энергии населению.

Защита объектов электроэнергетики от попадания прямых ударов молний должна закладываться еще на этапе проектирования. Важно определять параметры элементов молниезащиты наиболее оптимально, с одной стороны, чтобы обеспечить требуемую вероятность защиты, и с другой стороны — получить как можно меньшие финансовые затраты. Так, например, в работе [10] проведено моделирование перенапряжения, создаваемого волной проникновения молнии на подстанцию 220 кВ по линии электропередачи, рассмотрены последствия перенапряжения на изоляцию электрообо-

рудования, а также выбрана оптимальная схема защиты подстанции и силового трансформатора. Исследования влияния ударов молнии в отдельный объект на примере телекоммуникационной вышки можно рассмотреть в работе [11]. В данном исследовании представлено влияние прямого удара молнии на конструкцию, а также на основе моделирования изучено распределение поверхностных токов и напряженности электрического поля.

Помимо объектов электроэнергетики — электрических станций и подстанций, которые в связи с высотой оборудования и установок являются потенциальными целями для ударов молний, — в защите нуждаются и другие объекты народного хозяйства, обладающие схожими свойствами. К таким объектам можно отнести резервуары нефтебаз. Исследования молниезащиты нефтебаз рассмотрены в работах [12–14]. В исследованиях изучается вероятность прямого удара молнии в резервуар с плавающей крышей с использованием динамической электрогеометрической модели. В ходе проведенного моделирования изучено влияние различных размеров резервуара на вероятность удара, и результаты показывают, что вероятность удара по краю обода резервуара с плавающей крышей уменьшается с диаметром резервуара и увеличивается с высотой резервуара. Проблема защиты нефтяных резервуаров для стран с высокой грозовой активностью приобретает особую актуальность, в связи с чем постоянно совершенствуется нормативная база по комплексной защите нефтехранилищ и других объектов нефтегазовой промышленности [14].

В последнее время с развитием искусственно-го интеллекта и нейронных сетей наибольший интерес вызывают методы проектирования и оценки последствий с применением данных инструментов. В общем виде нейронные сети представляют собой связь нескольких наук — нейрофизиологии, математики, статистики, компьютерных технологий. Этим и объясняется их широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Но главным достоинством нейронных сетей по сравнению с другими методами является их способность к самообучению. Благодаря гибкости интеллектуальных сетей становятся доступными различные методы динамической молниезащиты и методы молниезащиты на основе искусственного интеллекта. В работе [15] на основе технологий искусственного интеллекта и данных обнаружения молний в реальном времени прогнозируется область сетки, где удары молнии могут произойти в течение получаса в будущем, а площадь составляет около 28 км². Подобные исследования приводятся в работе [16] — представлена разработанная программа с использованием нейронных сетей для прогнозирования точки удара молнии.

В работе [17] рассматривается метод для распределительной системы Smart Grid, который может точно и быстро управлять электросетью на основе технологии динамической молниезащиты. На основе результатов обнаружения молний в реальном времени и в сочетании с главным терминалом динамической молниезащиты интеллектуальной сети данный метод может осуществлять регулирование потоками мощности. В исследовании [18] предлагается новый метод оптимизации проектирования молниезащиты линии 10 кВ системы распределения на основе генетического алгоритма.

При проектировании молниезащиты и заземления подстанции главными факторами являются без-

опасность и бесперебойность электроснабжения. Согласно статистическим данным, многие повреждения на линии электропередачи вызваны ударами молнии, поэтому проектирование молниезащиты линии электропередачи является очень важным вопросом. В работе [19] предлагается алгоритм нейронной сети для оценки и анализа нескольких методов расчета при проектировании и заземлении молниезащиты — сравниваются несколько вариантов расчета молниезащитного заземления воздушных линий. Говоря о молниезащите подстанций, нельзя не принимать во внимание подход к подстанции (воздушные линии электропередачи), ведь исследования показывают, что молния может ударить и в линии электропередачи. Поэтому необходимо защищать также и воздушные линии электропередачи. В той же работе [19] предлагается алгоритм нейронной сети для оценки и анализа нескольких методов расчета при проектировании молниезащиты и заземления воздушных линий, а также сравниваются несколько методов расчета для заземления молниезащиты воздушных линий электропередачи.

Еще одним применением искусственных нейронных сетей является расчет импульсных перенапряжений, вызванных ударами молний [20]. В своей работе авторы для обучения нейронной сети учитывали параметры грунта, а также влияние плотности тока смещения, местоположения удара молнии и высоту воздушной линии. Кроме того, в работе рассматривается метод на основе искусственной нейронной сети для вычисления пиковых перенапряжений, вызванных молнией.

Грозовые перенапряжения считаются одними из наиболее опасных явлений в электрических сетях. При попадании молнии в линию возникающее при этом перенапряжение распространяется на другие компоненты сети: трансформаторы, кабели и др. В связи с чем интерес представляет работа [21], в которой представлено исследование перенапряжений, возникающих в высоковольтных кабельных линиях. В исследовании [22] авторы приводят анализ масштабов экономических потерь и изучение характера последствий удара молнии в низковольтную распределительную линию.

Анализ различных источников указывает на недостаточность нормативно-правовой базы по данному направлению исследований. В работе [23] рассматриваются некоторые практические вопросы на этапах проведения оценки риска и проектирования внешней системы молниезащиты в соответствии со стандартами IEC 62305 для здания со сложной формой крыши, например двух башенной.

Важнейшим аспектом при построении системы молниезащиты электрических подстанций является правильно рассчитанное заземляющее устройство. Для повышения эффективности электрических систем заземления применяются различные материалы обратной засыпки. Так, в работе [24] представлен всесторонний обзор подобных материалов обратной засыпки, используемых для электрического заземления. В исследовании [25] представлена информация о промышленном использовании материалов для обратной засыпки на основе бентонита в сочетании с электрическими системами заземления. Также вызывает особый интерес исследование [26], где представлены результаты долгосрочного эксперимента по активному методу снижения сопротивления заземления. Метод использует агент снижения сопротивления заземления на основе природного бентонита и алюминиевого жертвенно-

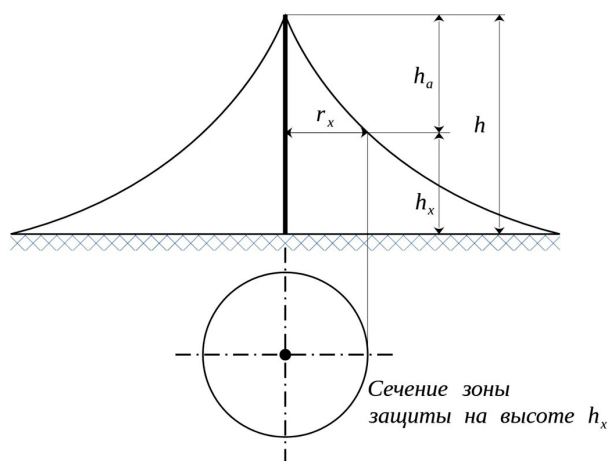


Рис. 1. Зона защиты молниеотвода, представляющая шатер
Fig. 1. Lightning protection zone as a tent

го электрода. В своих работах [27–29] авторы рассматривают методы расчета заземлителей, а также приводят расчеты параметров заземлителей под воздействием различных факторов.

Таким образом, **целью исследования** является разработка алгоритма расчета молниезащиты объектов энергетики на основе синтеза существующих методов расчета с учетом действующей электромагнитной обстановки.

Обеспечение правильной молниезащиты на объектах электроэнергетики способствует улучшению электромагнитной обстановки, необходимой вследствие высокой чувствительности автоматизированных систем технологического управления. Это ускорит процесс цифровизации энергообъектов путем уменьшения воздействия электромагнитных возмущений при ударе молнии в пределах защищаемого объекта.

Методика

Практика эксплуатации энергообъектов указывает на то, что, несмотря на идеальное соблюдение абсолютно всех указаний, изложенных в нормативно-технических документах по выполнению защиты объектов электроэнергетики от ударов молнии, полностью защитить энергообъект не удастся. Во времена, когда грозы становятся не редким явлением, происходят множественные технологические нарушения в работе оборудования энергообъектов. Низкая эффективность защиты объектов от попадания молнии связана с тем, что необходимо усовершенствование всей этой нормативно-технической документации. Анализ методик расчета параметров молниезащиты, представленных в действующих нормативных документах^{1, 2}, показывает, что зона защиты молниеотвода представляет собой шатер (рис. 1) или конус (рис. 2)^{3, 4}.

Анализ рассмотренных источников показывает, что при проектировании устройств молниезащиты

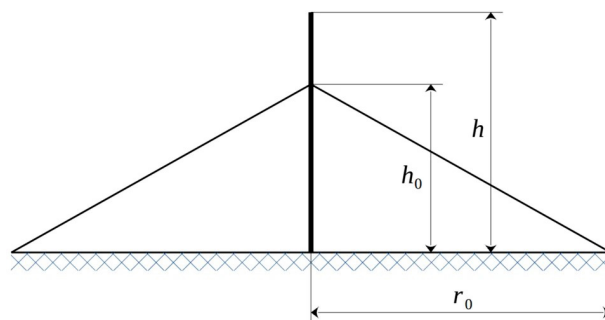


Рис. 2. Зона защиты молниеотвода, представляющая конус
Fig. 2. Lightning protection zone, representing a cone

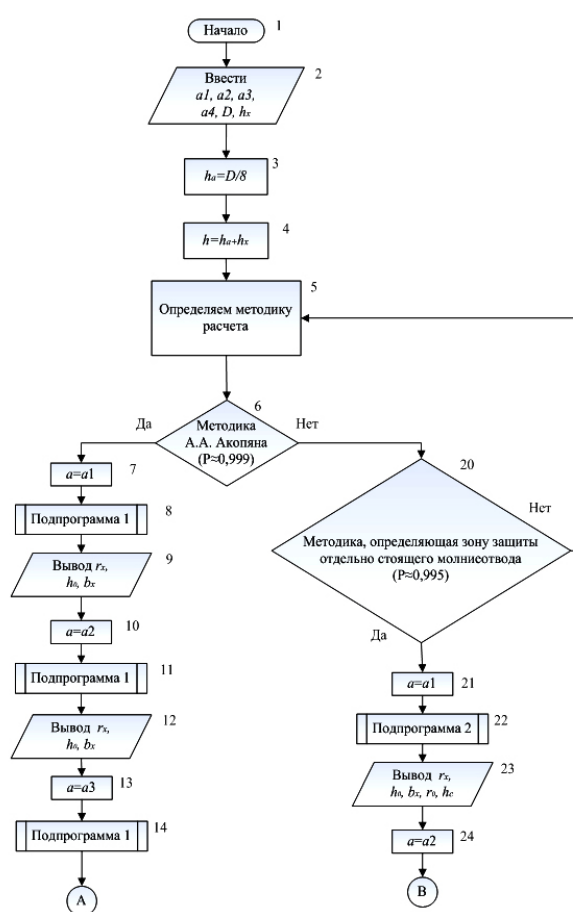


Рис. 3. Блок-схема алгоритма построения молниезащиты

Fig. 3. Block diagram of the algorithm of the lightning protection design

различных объектов существуют разделы и области, требующие уточнения методик расчета параметров молниезащиты, представленных в действующих нормативных документах.

¹ РД 34.21.122–87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. Москва: Энергоатомиздат, 1989. 32 с.

² СО 153-343.21.122–2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. Москва: МЭИ, 2004. 29 с.

³ ВСП 22-02-07/МО РФ. Нормы по проектированию, устройству и эксплуатации молниезащиты объектов военной инфраструктуры. Москва, 2007. 168 с.

⁴ Стандарт по молниезащите МЭК 62305. В 5 ч. Ч. 3. Защита зданий и сооружений от повреждений и защита людей и животных от электротравматизма. Москва, 2003. 147 с.

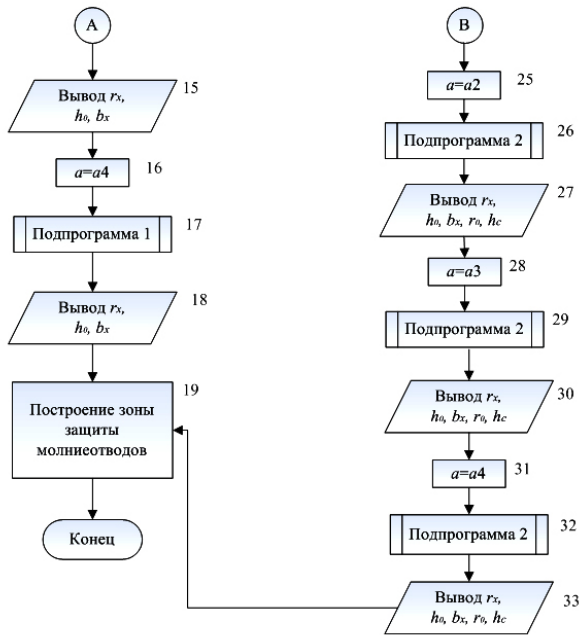


Рис. 4. Блок-схема алгоритма построения молниезащиты (продолжение рис. 3)
Fig. 4. Block diagram of the lightning protection design algorithm (continued of the Fig. 3)

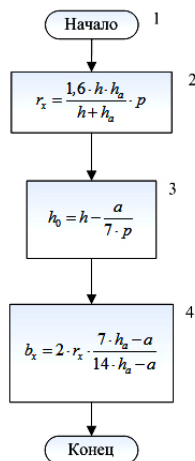


Рис. 5. Блок-схема подпрограммы алгоритма построения молниезащиты по Методике 1
Fig. 5. Block diagram of the subroutine of the algorithm of the constructing lightning protection by the Method 1

Результаты

На рис. 3, 4 представлена основная блок-схема алгоритма построения молниезащиты с четырьмя молниеотводами, блок-схема алгоритма подпрограммы (рис. 5), вычисляющая параметры молниезащиты по методике профессора А. А. Акопяна (далее — Методика 1) [30, 31] и определяющая параметры молниезащиты. И блок-схема алгоритма подпрограммы построения молниезащиты, вычисляющая параметры молниезащиты по методике защиты объекта с помощью молниеотводов, установленных обособленно (далее — Методика 2) (рис. 6), в которой, для того чтобы упростить расчетные

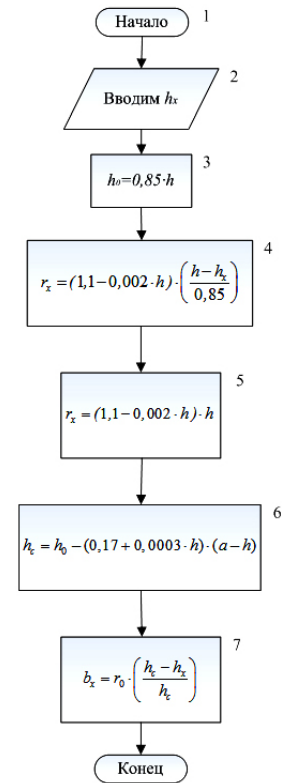


Рис. 6. Блок-схема подпрограммы алгоритма построения молниезащиты для отдельно стоящего молниеотвода
Fig. 6. Block diagram of the subroutine of the algorithm of the constructing lightning protection for a free-standing lightning rod

формулы зон защиты молниеотвода, предложенные А. А. Акопяном, делается допущение, что зона защиты одиночного молниеотвода представляет собой конус.

1. Вводим основные данные, необходимые для расчёта молниезащиты энергообъекта: расстояние между молниеотводами (a_1, a_2, a_3, a_4), диаметр окружности, проведенной через 3 молниеотвода (D), высоту портала (h_x).

2. Следующим этапом найдем активную зону h_a по формуле:

$$h_a \geq \frac{D}{8}. \quad (1)$$

3. Производим расчет высоты молниеотводов h по формуле:

$$h = h_a + h_x. \quad (2)$$

4. Определяем методику расчёта. В случае выбора Методики 1 переходим к блоку 7, указанному на блок-схеме (рис. 4), либо к Методике 2 (блоки 20–33).

5. По Методике 1 (блоки 7–18) вычисляются радиус зоны на высоте h_x , граница зоны защиты между молниеотводами, расположенная на высоте h_0 , наименьшая ширина b_x зоны защиты на высоте h_x с помощью подпрограммы 1 (рис. 5).

6. Подпрограмма 1. Блок-схема подпрограммы алгоритма построения молниезащиты по Методике 1 (рис. 5):

Радиус зоны в зависимости от высоты можем определить по выражению

$$r_x = \frac{1,6 \cdot h \cdot h_a}{h + h_a} \cdot p, \quad (3)$$

где $p = 1$ при высоте молниеотвода ≤ 30 м и $p = 5,5 / \sqrt{h}$, если высота молниеотвода находится в диапазоне $30 < h < 60$ м.

Границу зоны, проходящую через точку на высоте h_0 , можно определить по выражению

$$h_0 = h - \frac{a}{7 \cdot p}. \quad (4)$$

Ширина наименьшей зоны b_x на высоте h_x между двумя молниеотводами, определяемая по указанной ниже формуле,

$$b_x = 2 \cdot r_x \cdot \frac{7 \cdot h_a - a}{14 \cdot h_a - a}. \quad (5)$$

7. При выборе второй методики расчета молниезащиты энергообъекта (блоки 21–33) производятся расчеты во 2-й подпрограмме (рис. 6). Они включают в себя:

определение высоты конуса

$$h_0 = 0,85 \cdot h; \quad (6)$$

определение радиуса конуса, на высоте защищаемого сооружения

$$r_x = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot \left(\frac{h - h_x}{0,85} \right); \quad (7)$$

определение радиуса защиты на уровне земли

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot h; \quad (8)$$

определение высоты между молниеотводами по следующему выражению

$$h_c = h_0 - (0,17 + 0,0003 \cdot h) \cdot (a - h). \quad (9)$$

Зона защиты на высоте h_x , имеющая наименьшую ширину b_x , между молниеотводами определяется по формуле

$$b_x = r_0 \cdot \left(\frac{h_c - h_x}{h_c} \right). \quad (10)$$

8. На основании расчетов Методики 1 или Методики 2 строится зона молниезащиты энергообъекта со степенью надежности $P \approx 0,999$ или $P \approx 0,995$ соответственно.

Обсуждение

В результате проведенной работы можно сделать следующие выводы: большое внимание уделяется молниезащите в связи с тем, что молния является таким природным явлением, которое оказывает мощные электромагнитные возмущения на энергообъектах. Определено, что основным способом защиты электроэнергетических объектов от прямых ударов молнии является установка молниеотводов.

Импульсные напряжения, возникающие вследствие удара молнии, могут привести к нарушению функционирования устройств релейной защиты автоматики и телемеханики. Поэтому необходимо подходить к вопросам проектирования молниезащиты с учетом электромагнитной совместимости на энергообъекте для предотвращения нарушения функционирования оборудования.

Анализ методик и проведенные расчеты указывают на то, что радиус зоны защиты молниеотвода на высоте, равной половине высоты молниеотвода, может значительно изменяться от максимального до минимального значения. Это, в свою очередь, влияет на точность расчетов, говоря не просто о долях, а о нескольких процентах. Таким образом, ставилась задача разработать гибридный алгоритм, который позволит повысить надежность зоны защиты, и будет обладать простотой реализации для дальнейшей разработки прикладной программы расчета молниезащиты.

Заключение

На основании рассмотренных методов расчета параметров молниезащиты предложен гибридный алгоритм, в основе которого лежат методика, разработанная профессором А. А. Акопяном и методика расчета отдельно стоящего молниеотвода. Предложенный алгоритм может быть использован для разработки соответствующих программ, позволяющих рассчитывать и строить 3D-модель молниезащиты, что ускорит процесс проектирования объектов энергетики.

Финансирование / Funding

Исследование проводилось в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Разработка моделей вейвлет-анализа нестационарных режимов электрических сетей для повышения надежности и эффективности электроснабжения потребителей», код темы: FENG-2023-0005).

The research was conducted within the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation ("Development of wavelet analysis models for non-stationary modes of electrical networks to improve the reliability and efficiency of power supply to consumers", theme code: FENG-2023-0005).

Список источников / References

1. Gomes C., Guthrie M. Development of cost-effective lightning protection measures for underprivileged communities. *12th Asia-Pacific International Conference on Lightning (APL)*. 2023. <https://doi.org/10.1109/APL57308.2023.10181896>.
2. Аджиев А. Х., Кулиев Д. Д., Стасенко В. Н. Оценка параметров работоспособности грозопеленгационных систем LS8000 и ENTLS в регионе Северного Кавказа // *Метеорология и гидрология*. 2022. № 4. С. 117–126. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-4-117-126>. EDN: RASRGX.
- Adzhiev A. Kh., Kuliev D. D., Stasenko V. N. Evaluation of performance parameters of lightning direction finding systems LS8000 and ENTLS in the north caucasus region. *Meteorology and Hydrology*. 2022;4:117–126. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-4-117-126>. EDN: RASRGX. (In Russ.).
3. Аджиев А. Х., Кереева З. М., Гятов Р. А. Пространственно-временная изменчивость грозовой активности на территории Северного Кавказа // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2023. № 3 (389).

C. 152–164. <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2023-3-152-164>. EDN: GWQEUO.

Adzhiev A. H., Kerefova Z. M., Gyatov R. A. Spatiotemporal variability of thunderstorm activity in the north Caucasus. *Hydrometeorological Research and Forecasting*. 2023;3(389):152–164. <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2023-3-152-164>. EDN: GWQEUO. (In Russ.).

4. Аджиев А. Х., Шагин С. И., Керефова З. М., Дахова О. О. Плотность распределения грозовых разрядов по Северо-Кавказскому федеральному округу // Геология, география и глобальная энергия. 2023. № 3 (90). С. 55–60. https://doi.org/10.54398/20776322_2023_3_55. EDN: WUCOLD.

Adzhiev A. Kh., Shagin S. I., Kerefova Z. M., Dachova O. O. Lightning distribution density in the north caucasus federal district. *Geology, Geography and Global Energy*. 2023;3(90):55–60. https://doi.org/10.54398/20776322_2023_3_55. EDN: WUCOLD. (In Russ.).

5. Аджиев А. Х., Куповых Г. В., Юрченко Н. В., Керефова З. М. Аномальный грозовой процесс на территории Ростовской области // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2024. № 2 (222). С. 50–56. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2024-2-50-56>. EDN: XZGKFR.

Adzhiev A. Kh., Kupovykh G. V., Yurchenko N. V., Kerefova Z. M. Anomal thunderstorm process in the territory of the Rostov region. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science*. 2024;2(222):50–56. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2024-2-50-56>. EDN: XZGKFR. (In Russ.).

6. Каранин А. В., Кочеева Н. А., Беликова М. Ю., Какорин В. А. Энергия и суточный ход молниевой активности в локациях пожаров от гроз на территории Республики Алтай // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2023. № 4 (220). С.91–102. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2023-4-91-102>. EDN: DYQBYC.

Karanin A. V., Kocheeva N. A., Belikova M. Yu., Kakorin V. A. Energy and diurnal rate of thunderstorm activity in the lightning initiated wildfire locations on the Altai Republic territory. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science*. 2023;4(220):91–102. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2023-4-91-102>. EDN: DYQBYC. (In Russ.).

7. Mata C. T., Hill J. D. Performance Evaluation of Non-Conventional Lightning Protection Systems Based on NLDN Data. *2022 36th International Conference on Lightning Protection (ICLP)*. 2022. <https://doi.org/10.1109/ICLP56858.2022.9942523>.

8. Dawalibi F., Li Y. Analysis of a Direct Lightning Impact on a Substation and its Protection Equipment. *2023 International Symposium on Lightning Protection (XVII SIPDA)*. 2023. <https://doi.org/10.1109/SIPDA59763.2023.10349132>.

9. Glebov O. Y., Koliushko D. G., Kiprych S. V., Rudenko S. S. The Problem of Determining the Level of Lightning Protection for Electrical Substations by the Risk Assessment Method. *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2022. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916320>.

10. Liu B., Ding L., He D., Hu C. Study on Lightning Protection Measures for 220 kV Substation. *2021 International Conference on Electronic Information Technology and Smart Agriculture (ICEITSA)*. 2021. <https://doi.org/10.1109/ICEITSA54226.2021.00029>.

11. Denov B., Hidayat S., Zoro R. [et al.]. A Simulation Study on Lightning Current Distribution in Telecommunication Tower. *2021 3rd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*. 2021. <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS53178.2021.9601143>. EDN: OETSXD.

12. Ibrahim W., Zaki R. Enhancement of the Lightning Protection System of Floating Roof Oil Tanks by Improving its Grounding System. *2022 36th International Conference on Lightning Protection (ICLP)*. 2022. <https://doi.org/10.1109/ICLP56858.2022.9942559>.

13. Adekitan A., Rock M. The Undesirable Interaction of Lightning Strike and Floating Roof Tanks. *2021 35th International Conference on Lightning Protection (ICLP) and XVI International*

Symposium on Lightning Protection (SIPDA). 2021. <https://doi.org/10.1109/ICLPandSIPDA54065.2021.9627432>. EDN: TOTREG.

14. Denov B., Zoro R., Suwarno, Hidayat S. Evaluation of NFPA 780 Standard for Lightning Protection of Oil and Gas Installation in Indonesia. *2023 International Symposium on Lightning Protection (XVII SIPDA)*. 2023. <https://doi.org/10.1109/SIPDA59763.2023.10349135>.

15. Shu Q., Tong C., Gong L. Real-Time Lightning Stroke Area Trend Prediction Based on Lightning Energy Estimation. *2023 International Symposium on Lightning Protection (XVII SIPDA)*. 2023. <https://doi.org/10.1109/SIPDA59763.2023.10349101>.

16. Khelil D., Bouazabia S., Mikropoulos P. N. [et al.]. Prediction of the lightning discharge impact point by neural networks. *IET Conference Proceedings*. 2023;46:748–751. <https://doi.org/10.1049/icp.2024.0614>. EDN: BYZJPZ.

17. Xiang M., Xu Y., Tong C. [et al.]. A Method of Dynamic Control of the Power Grid based on Real-time Lightning Tracking. *2021 35th International Conference on Lightning Protection (ICLP) and XVI International Symposium on Lightning Protection (SIPDA)*. 2021. <https://doi.org/10.1109/ICLPandSIPDA54065.2021.9627370>.

18. Nie Y. Optimization Design of Distribution Line Lightning Protection Based on BP Neural Network Algorithm. *2022 Euro-Asia Conference on Frontiers of Computer Science and Information Technology (FCSIT)*. 2022. <https://doi.org/10.1109/FCSIT57414.2022.00023>.

19. Zhang K. Research on Several Calculation Methods for Lightning Protection and Grounding of Overhead Transmission Lines. *2023 3rd International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking (SMART GENCON)*. 2023. <https://doi.org/10.1109/SMARTGENCON60755.2023.10442211>.

20. Ain N., Mahmood F., Rizk M. A Neural Network Based Prediction System for Lightning Induced Over-Voltages on Overhead Lines Considering the Soil Electrical Parameters. *2022 36th International Conference on Lightning Protection (ICLP)*. 2022. <https://doi.org/10.1109/ICLP56858.2022.9942611>.

21. Pandey A. P., Das A., Reddy C. C. Transient Over Voltages in Cross-Bonded Power Cables due to Lightning Impulse. *2022 IEEE 10th Power India International Conference (PIICON)*. 2022. <https://doi.org/10.1109/PIICON56320.2022.10045121>.

22. Ghimire B., Sharma S., Karki P. [et al.]. Impact of a lightning strike on a low voltage transmission line: A case study from Fujel Gorkha, Nepal. *2023 12th Asia-Pacific International Conference on Lightning (APL)*. 2023. <https://doi.org/10.1109/APL57308.2023.10181409>.

23. Gomes A., Gomes C. Challenges in Conducting Risk Assessment and Designing Protection Measures as per IEC 62305 for a Twin Tower of Different Heights. *2022 36th International Conference on Lightning Protection (ICLP)*. 2022. <https://doi.org/10.1109/ICLP56858.2022.9942666>.

24. Sattar M. Q., Gomes C. Backfill Materials for Enhancing the Performance of Electrical Grounding Systems: An Analytical Revisit. *2022 36th International Conference on Lightning Protection (ICLP)*. 2022. <https://doi.org/10.1109/ICLP56858.2022.9942517>.

25. Sabry R. Z., Gomes A., Gomes C. Frequency Dependent Resistivity of Soil, Bentonite and Soil-Bentonite Mixes: With Special Attention to Electrical Grounding Systems. *2021 35th International Conference on Lightning Protection (ICLP) and XVI International Symposium on Lightning Protection (SIPDA)*. 2021. <https://doi.org/10.1109/ICLPandSIPDA54065.2021.9627440>.

26. Hamzah M. N., Gomes C., Afq M., Ab Kadir M. Z. A. Performance of Active Electrical Earthing Systems: Results and Discussion. *2023 12th Asia-Pacific International Conference on Lightning (APL)*. 2023. <https://doi.org/10.1109/APL57308.2023.10182183>.

27. Шишигин С. А., Шишигин Д. С., Смирнов И. Н. Расчет заземлителей с учетом ионизации и частотных свойств грунта // Известия РАН. Энергетика. 2022. № 6. С. 46–63. <https://doi.org/10.31857/S0002331022060024>. EDN: QRBLNH.

Shishigin S. L., Shishigin D. S., Smirnov I. N. Calculation of grounding devices taking into account ionization and frequency properties of the soil. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Energetics*. 2022;6:46–63. <https://doi.org/10.31857/S0002331022060024>. EDN: QRBLNH. (In Russ.).

28. Шишигин С. Л., Шишигин Д. С., Смирнов И. Н. Вероятность обратного перекрытия изоляции опоры воздушной линии с учетом ионизации и частотных характеристик грунта // *Электричество*. 2023. № 2. С. 27–36. <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2023-2-27-36>. EDN: APBLMV.

Shishigin S. L., Shishigin D. S., Smirnov I. N. Back Flashover Probability of the Overhead Power Line Insulation Taking into Account the Soil Ionization and Frequency Response Features. *Elektrichestvo*. 2023;2:27–36. <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2023-2-27-36>. EDN: APBLMV. (In Russ.).

29. Onyedikachi S. N., Gomes C. Modeling Performance Variation of Earthing Enhancement Materials in Different Soils and Conditions. *2024 32nd Southern African Universities Power Engineering Conference (SAUPEC)*. 2024. <https://doi.org/10.1109/SAUPEC60914.2024.10445044>.

30. Акопян А. А. Исследование защитного действия молниеотводов на моделях // *Электричество*. 1937. № 9-10. С. 20–25.

Akopyan A. A. Investigation of lightning-diverter protective value on models. *Elektrichestvo*. 1937;9:10:20–25. (In Russ.).

31. Акопян А. А. Защитное действие одиночного стержневого молниеотвода // *Электричество*. 1937. № 24. С. 11–14.

Akopyan A. A. Zashchitnoye deystviye odinochnogo sterzhnovego molniyeotvoda. *Elektrichestvo*. 1937;24:11–14. (In Russ.).

Вклад авторов:

А. Г. Лютаевич. Постановка цели, задач исследования и научной проблемы, формулировка гипотезы о недостаточности существующих норм, выбор направления синтеза двух методик, анализ электромагнитной обстановки как ключевого фактора, общее редактирование текста, формулировка выводов.

В. А. Ткаченко. Разработка блок-схем алгоритма, реализация двух подпрограмм, вывод и адаптация расчетных формул.

Д. В. Бетев. Развернутый обзор отечественных и зарубежных источников, анализ существующих нормативных документов, выявление недостатков существующих методик, сравнение с альтернативными подходами.

Authors' contribution:

Aleksandr G. Lyutarevich. Setting the aim, objectives and the scientific problem, formulating a hypothesis about the inadequacy of existing standards, choosing the direction of synthesis of two methods, analysing the electromagnetic environment as a key factor, general editing of the text, formulating conclusions.

Vsevolod A. Tkachenko. Development of algorithm flowcharts, implementation of two subroutines, derivation and adaptation of calculation formulae.

Denis V. Betev. Comprehensive review of domestic and foreign sources, analysis of existing regulatory documents, identification of shortcomings of existing methods, comparison with alternative approaches.

Информация об авторах:

ЛЮТАРЕВИЧ Александр Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент Политехнической школы

Югорского государственного университета, г. Ханты-Мансийск.

SPIN-код: 7525-1609

AuthorID (РИНЦ): 174437

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7503-1512>

AuthorID (SCOPUS): 57188871750

ResearcherID: D-9400-2014

e-mail: l.alexander@inbox.ru

ТКАЧЕНКО Всеволод Андреевич, кандидат технических наук, доцент Политехнической школы Югорского государственного университета, г. Ханты-Мансийск.

SPIN-код: 5200-0062

AuthorID (РИНЦ): 939477

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7321-1162>

AuthorID (SCOPUS): 57210291005

ResearcherID: W-3652-2019

e-mail: sevaatmail@yandex.ru

БЕТЕВ Денис Владимирович, аспирант Политехнической школы Югорского государственного университета, г. Ханты-Мансийск.

e-mail: betevdv@rambler.ru

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 24.10.2025; одобрена после рецензирования 10.02.2026; принята к публикации 02.06.2026.

Information about the authors:

LYUTAREVICH Aleksandr Gennad'yevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Polytechnic School, Yugra State University, Khanty-Mansiysk.

SPIN-code: 7525-1609

AuthorID (RSCI): 174437

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7503-1512>

AuthorID (SCOPUS): 57188871750

ResearcherID: D-9400-2014

e-mail: l.alexander@inbox.ru

TKACHENKO Vsevolod Andreyevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Polytechnic School, Yugra State University, Khanty-Mansiysk.

SPIN-code: 5200-0062

AuthorID (RSCI): 939477

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7321-1162>

AuthorID (SCOPUS): 57210291005

ResearcherID: W-3652-2019

e-mail: sevaatmail@yandex.ru

BETEV Denis Vladimirovich, Postgraduate of the Polytechnic School, Yugra State University, Khanty-Mansiysk.

e-mail: betevdv@rambler.ru

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

The authors have read and approved the final manuscript.

The article was submitted 24.10.2025; approved after reviewing 10.02.2026; accepted for publication 02.06.2026.