

# Системы обнаружения и прогнозирования грозовых явлений компании **Boltek**

*Устройства компании Boltek, отличающиеся широкими функциональными возможностями и простотой эксплуатации, позволяют не только оценить текущую грозовую обстановку на расстояниях до 1200 км, но и спрогнозировать поведение и опасность ее воздействия на различные промышленные объекты. В статье рассматриваются основные конструктивные и функциональные особенности оборудования компании, даны некоторые рекомендации по развертыванию системы обнаружения грозовых явлений.*



## **Введение**

Как известно, гроза – атмосферное явление, при котором в кучевых облаках, находящихся на высоте 7-15 км и состоящих из смеси капель и кристаллов, возникают многократные искровые электрические разряды – молнии, сопровождающиеся громом, ливнями, градом и усилением ветра. Для большей части территории России характерно развитие грозовой активности в теплый период года. Для центральных регионов интенсивность воздействия грозы составляет приблизительно 50 часов в год, при этом молния воздействует в среднем 2 раза в год на 1 км<sup>2</sup> местности. Для южных районов с повышенной грозовой активностью частота возникновения этих опасных явлений увеличивается более чем в 5 раз. Разряды молний относятся к одним из самых распространенных и разрушительных явлений природы. Во время разряда молнии в ее стволе возникают огромные токи, при протекании которых возникают мощные импульсные перенапряжения. Скорость перемещения грозового облака зависит от многих факторов и может достигать значительных величин, в среднем она составляет порядка 20 км/ч, но в экстремальных ситуациях некоторые грозы двигаются гораздо быстрее – со скоростями 65-80 км/ч. Поэтому для избегания негативных последствий очень желательно определение точной метеорологической обстановки в режиме реального времени.

Наблюдение за грозовой активностью актуально для многих отраслей промышленности. Например, в авиации для обеспечения безопасности воздушного движения и своевременного изменения маршрута необходимо тщательно изучать метеобстановку, как перед полетом, так и во время его. По данным международной организации гражданской авиации (ИКАО) за последние 25 лет неблагоприятные метеорологические условия были официально признаны причиной от 6 до 20% авиационных происшествий. Особенно часто встречается выход из строя аэронавигационных приборов и оборудования связи из-за воздействия грозовых явлений. В энергетике, воздушные линии электропередач (ВЛ) сооружаются на открытой местности и поэтому являются уязвимыми для молний и всех опасных явлений погоды, сопровождающих грозы. В некоторых случаях грозовая активность дости-

гает очень большой интенсивности и без заблаговременного прогноза и своевременного предупреждения о надвигающейся стихии невозможно предотвратить возникновение аварий на объектах электроэнергетики и сбоев в электроснабжении потребителей. Для предотвращения таких ситуаций необходима современная система грозомониторинга и специализированного прогноза погоды для заблаговременного и оперативного предупреждения диспетчерских и аварийных служб. Для повышения достоверности определения интенсивности грозовой деятельности вдоль трасс действующих и проектируемых ВЛ в целях повышения или разработки их молниезащиты целесообразно вместо карт среднегодовой продолжительности гроз в часах использовать карты плотности разрядов молнии на поверхности земли, составленные по данным регистраторов разрядов молнии автоматизированными системами грозопеленгации.

Повышение эффективности обнаружения и распознавания гроз возможно с помощью пассивных средств регистрации электромагнитного излучения (ЭМИ) грозовых разрядов. К таким средствам относятся однопунктовые и многопунктовые системы определения местоположения грозовых очагов и разрядов. В большинстве из них (исключение составляют многопунктовые разностно-дальномерные системы) используются радиопеленгаторы и дальномеры, технические основы которых были заложены еще в 20-е годы прошлого века. Во второй половине 20-го века использовались преимущественно узкополосные грозопеленгаторы с амплитудным и амплитудно-фазовым преобразованием сигналов. В начале 90-х годов появились проекты по разработке широкополосных модификаций приемников для грозопеленгаторов. Из наиболее известных отечественных решений можно отметить грозопеленгаторы-дальномеры “ШТОРМ”, “ОЧАГ-2П”, “Пеленг”, “ПАГ-1”, “Верея” и “Алвес” [1]. Современные системы мониторинга грозовой активности позволяют получать возможность раннего предупреждения о грозовой опасности в интересующем его районе. Хорошо зарекомендовали себя в этой области компании Vaisala и Boltek, выпускающие надёжное и высокоточное оборудование, прошедшее многолетнюю проверку в сетях наблюдений NLDN, NASA, ALDIS и EUCLID.

### ***Оборудование компании Boltek***

Канадская корпорация Boltek занимает лидирующие позиции среди производителей доступного оборудования и программного обеспечения для получения оперативной и аналитической информации о грозовых явлениях. Современные системы детектирования молний Boltek устанавливаются по всему миру и позволяют решать задачи штормового оповещения как самостоятельно, так и в составе комплексов мониторинга окружающей среды, в частности, совместно с метеорологическими радиолокаторами [2]. Их применение позволяет спрогнозировать вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций, выбрать правильные средства молниезащиты, а также учитывать грозовую активность в регионах при проектировании протяжённых объектов – трубопроводов, ЛЭП, ЖД магистралей и т.д. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки, выполняемые инженерной группой компании в тесном контакте с заказчиками, позволяют постоянно улучшать характе-

ристики выпускаемого оборудования и модернизировать программное обеспечение в соответствии с требованиями потребителей. Оборудование и ПО компании Voltek в режиме реального времени обеспечивает контроль состояния электрического поля атмосферы, обнаруживает и фиксирует грозовые разряды на расстояниях до 1200 км, показывает точную информацию о месте и времени грозового разряда в двухмерном отображении и сохраняет полученные статистические данные. Предлагаемое совместно с аппаратурой, ПО обработки сигналов позволяет максимально точно определить расстояние, а также разделять разряды молний друг от друга.

Системы отслеживания грозовых явлений ближнего и дальнего радиуса действия, проектируемые с применением оборудования Voltek, как минимум содержат флюксометры EFM-100 для мониторинга электрического поля атмосферы, а также детекторы молний LD-250, LD-350 и StormTracker. Определиться с выбором устройств для решения конкретных задач поможет таблица 1.

Таблица 1 – Особенности применения устройств компании Voltek.

	EFM-100	EFM-100M	StormTracker	LD-250	LD-250M	LD-350
Небольшие расстояния, до 38 км	•	•	•	•	•	•
Высокая точность на расстояниях до 38 км	•	•	x	x	x	x
Работа на больших расстояниях, до 480 км	x	x	•	•	•	•
Отображение направления на зафиксированные молнии	x	x	•	•	•	•
Обнаружение явлений, предшествующих появлению молний	•	•	x	x	x	x
Классификация типов разрядов	x	x	•	x	x	•
Наличие интерфейса USB	•	•	x	•	•	•
Переносная работа с ноутбуком	•	•	x	•	•	•
Мобильная работа в автомобиле или лодке	x	x	x	•	•	x
Упрочненная конструкция для полевых работ	x	•	x	x	•	x
Управление внешними устройствами	•	x	x	•	x	•
Связанная сеть детекторов молний	x	x	•	x	x	•

Помимо этого, доступен широкий спектр опциональных изделий, а также вспомогательные модули для индикации, преобразования и передачи данных. Детекторы молний компании Voltek используются тысячами потребителей по всему миру, основные области применения включают в себя:

- Корпоративные и государственные вычислительные центры;
- Частные и государственные метеорологические центры;
- Производственные предприятия;
- Авиационные службы;
- Военно-морской и гражданский флот;
- Службы предотвращения чрезвычайных ситуаций;
- Любительские исследования погодных явлений.

Аппаратные решения сопровождаются примерами программ и библиотеками с реализованными функциями обработки данных, предназначенными для системных интеграторов и разработчиков ПО.

## *Электростатические флюксометры Voltek*

Основой типовых систем Voltek ближнего радиуса действия (максимальная дальность до 38 км) являются электростатические флюксометры EFM-100 [3]. EFM-100 и его модернизированная версия EFM-100M позволяют не только детектировать грозовые разряды, но и определять состояние высокой напряжённости электрического поля, предшествующее первым разрядам молний. Являющееся результатом разности потенциалов электрическое поле, возникающее во время грозы, достигает величин напряженности порядка сотен В/м или даже единиц кВ/м. Молнии могут быть обнаружены по внезапному одновременному изменению вертикальной и горизонтальных составляющих этого поля вблизи земной поверхности.

В основу работы устройства заложен принцип действия электростатического генератора. Он состоит в том, что при внесении проводника в переменное электрическое поле, в нем возникает движение индуцированных зарядов, причем величина тока, создаваемого перемещающимися зарядами, пропорциональна изменению напряженности поля. Конструктивно электростатический флюксометр состоит из неподвижных измерительных электродов и вращающейся над ними экранирующей пластины. Экранирующая пластина имеет шесть одинаковых по форме секторальных выреза, размещенных симметрично по окружности, средняя линия каждого сектора имеет угол со средними линиями соседних с ним секторов, равный  $60^\circ$ . Двигатель, устанавливаемый на корпусе-основании, поворачивает вал с укрепленной на нем и расположенной горизонтально экранирующей пластиной, частота вращения контролируется блоком стабилизации скорости вращения. Для минимизации уровня помех, вносимых в высокочувствительные входные цепи, применяется плоская конструкция бесщеточного двигателя, питаемого от источника постоянного тока. Преобразование поля осуществляется механическим способом за счет вращения лопастей, напоминающих крылья ветряной мельницы. При вращении экранирующей пластины чувствительные элементы периодически экранируются от действия измеряемого электрического поля, в результате чего в цепи, соединяющей измерительную пластину с землей, возникает быстро меняющийся переменный ток, который обрабатывается электрической схемой устройства. Дальнейший путь прохождения сигнала можно проследить по функциональной схеме, изображенной на рис.1.

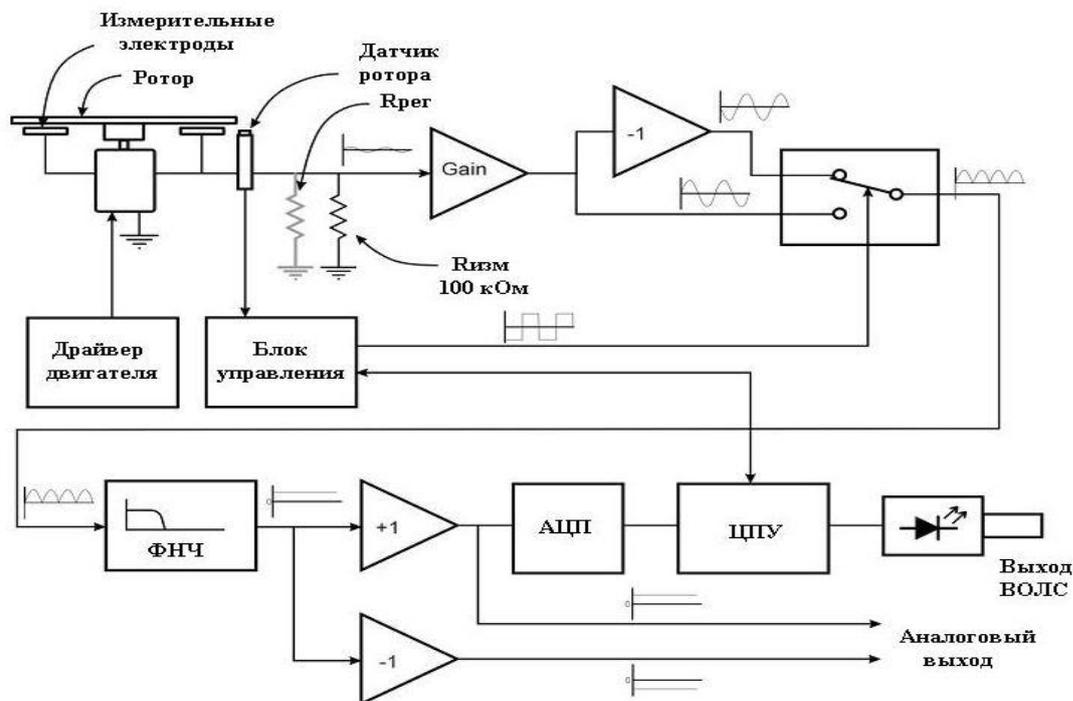


Рис. 1 – Упрощенная функциональная схема флюксметра EFM-100.

Усиленный электрический сигнал имеет частоту, определяемую скоростью вращения экранирующей пластины и количеством секториальных вырезов на ней. Форма напряжения на выходе усилителя определяется его входным сопротивлением и близка к синусоидальной. В отсутствие измеряемого электрического поля (например, при полной экранировке электродов), на выходе усилителя будет наблюдаться сигнал, величина которого определяется контактной разностью потенциалов между экранирующей пластиной и измерительными электродами. Этот сигнал задает предел чувствительности флюксметра. Далее через синхронный выпрямитель полученный сигнал поступает на фильтр низких частот, после которого преобразуется в цифровой вид при помощи быстродействующего АЦП с разрешением 12 бит. Аналогово-цифровой преобразователь находится сразу после фильтра, что исключает возникновение погрешностей, характерных для аналогового способа обработки сигнала. Преобразованная во встроенном контроллере информация может передаваться через опико-волоконные линии связи либо при использовании входящих в комплект поставки адаптеров EFA-10 и EFA-20 через интерфейсы USB и RS-232. При необходимости повышения дальности передачи существует возможность использования протокола связи RS-485, а при помощи вспомогательного GSM/GPRS модема организуется передача сигнала тревоги на сотовый телефон или электронную почту. Также результат измерения доступен в аналоговой форме в диапазоне от -20 до +20 В. Напряжение на аналоговом выходе прямо пропорционально напряженности электрического поля, так максимальной напряженности 20 кВ/м соответствует сигнал с амплитудой 20 В, 12 кВ/м – 12 В и т.д.

Для повышения коррозионной стойкости корпус флюксметра EFM-100 изготавливается на основе алюминия и нержавеющей стали, выводы соединительных разъемов имеют золотое покрытие.

тие, диапазон рабочих температур устройства от  $-40$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ . Для максимальной защиты электродов от влияния погодных условий применяется сенсор с обратным креплением (перевернутый на  $180$  градусов относительно горизонтали), что значительно уменьшает количество ложных тревог при сильных осадках. С целью обеспечения стабильного функционирования системы необходимо учитывать общие рекомендации по монтажу устройства. Датчик нельзя монтировать вблизи высоких объектов, так как их значительные габариты в вертикальной плоскости могут экранировать сенсор и, как следствие, вносить погрешность в результаты измерения. Оптимальным и гарантирующим высокую точность способом является размещение датчика на уровне земли. На практике же это редко применяется, так как наличие воды, частиц грунта, растений и т.д. приводит к загрязнению и нарушению изоляции чувствительных электродов. Поэтому чаще всего устройство устанавливается либо на крыше зданий, либо при помощи различных приспособлений крепится на определенной высоте (рис. 2). Такой способ требует введения коррекции результатов измерения электрического поля, осуществляемой путем соединения одного из шести стандартных контактных гнезд, входящих в комплект поставки, со специальным клеммником. Их подключение равнозначно добавлению подстроечного резистора во входные цепи устройства ( $R_{\text{рег}}$  на рис. 1), что позволяет уменьшить чувствительность приемника и компенсировать завышенные показания напряженности поля. Большинство применений не требуют точной подстройки, предварительная настройка выполняется установкой джампера из ряда  $0,2X$ ;  $0,25X$ ;  $0,33X$ ;  $0,5X$ ;  $0,63X$  и  $0,75X$ . При этом контролируется напряженность поля, которая в ясную погоду должна принимать значение порядка  $0,1$  кВ/м. Для задач прецизионного измерения дополнительно рассчитывается коэффициент коррекции исходя из показаний, полученных от эталонного устройства, устанавливаемого на уровне земли, и от рабочего, монтируемого в выбранном месте.



*Рис. 2 – Внешний вид флюксметра EFM-100 и предлагаемые способы его монтажа.*

Для визуализации и наглядного представления полученных результатов используется графический интерфейс пользователя Voltek Electric Field Monitor. Предлагаемое ПО позволяет в режиме реального времени отображать напряженность электрического поля атмосферы в виде графиков, регистрировать и сохранять в log файлах случаи грозных явлений (рис. 3). Для интерпретации полу-

ченых данных прилагается подробная инструкция. Сигналы предупреждения и сигнализации формируются на основе настраиваемых параметров: длительности и уровне повышенной напряженности, периодичности и дальности возникновения гроз и т.д. К одному компьютеру с установленным “софтом” возможно подключение от одного до четырех устройств, объединенных по локальной или глобальной сети.

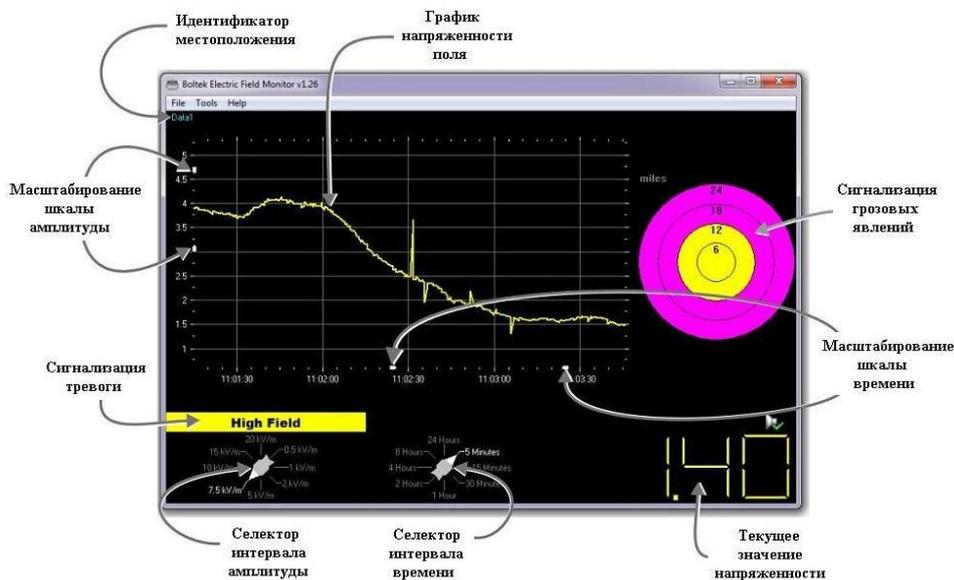


Рис. 3 – Внешний вид основного окна программы мониторинга.

## Грозопеленгаторы Voltek

Системы дальнего радиуса действия (максимальное расстояние обнаружения до 1200 км) строятся с обязательным применением грозопеленгаторов LD-250 (LD-250M), LD-350 или StormTracker. Однопунктовые грозопеленгаторы-дальномеры, применяемые самостоятельно либо в качестве дополнения к системам ближнего радиуса действия, позволяют определить не только азимут, но и дальность до грозы. Устройства серии LD различаются, прежде всего, гарантированной дальностью обнаружения: 480 км у LD-250 и 1200 км у LD-350 (таблица 2). Из других интересных особенностей можно отметить возможность использования детектора LD-250 в мобильных решениях, а LD-350 для организации сети детекторов молний [4, 5]. Кроме того, пеленгатор LD-350 в отличие от LD-250 способен дифференцировать различные виды молний (классификация по типу облако-облако, облако-земля).

Таблица 2 – Основные эксплуатационные характеристики грозопеленгаторов серии LD.

	LD-250	LD-350
Дальность обнаружения (макс.)	480 км	1200 км
Количество регистрируемых разрядов в минуту (макс.)	999	
Выходные параметры блока питания	11,8-18 В; 0,8 А	
Входные параметры сетевого адаптера	120 В, 60 Гц (220 В, 50 Гц для Европы)	
Интерфейсы связи	RS-232, USB	USB, сеть 10baseT
Характеристики GPS порта	стандарт NMEA, 4800 бод, 8 бит данных, 1 стоповый бит, без бита четности	

Габариты пеленгатора / типовой антенны	123 x 178 x 29 мм / 38 x 51 x 94 мм	127 x 165 x 38 мм / 38 x 51 x 94 мм
Вес пеленгатора / типовой антенны	375 г. / 200 г.	
Операционные системы для ПО	Windows 8, 7, Vista, 2000, XP, 98, 95, NT 4.0 и 3.1	

Направление на источник радиосигнала (молнию) определяется при помощи пеленгационной антенны. Типовая антенна грозопеленгаторов предназначена для монтажа внутри помещений (в деревянных зданиях), для применения на открытой местности используется модификация ENC-1, а в мобильных установках – ENC-2 с магнитным креплением. Сигнал с антенны поступает в автономный приемник и на основе его параметров производится программный расчет дальности грозы. Применяемые алгоритмы обработки позволяют не только измерить полученное расстояние с большой точностью, но и точно дифференцировать разряды молний друг от друга. Для связи с ПК или ноутбуком служат последовательные интерфейсы RS-232 или USB. Грозопеленгаторы являются автономными устройствами, поэтому они способны отслеживать окружающую обстановку даже при выключенном компьютере. Встроенная звуковая и световая сигнализация с регулируемыми характеристиками предупреждает об изменении грозовой обстановки. Использование грозопеленгаторов совместно с опциональным GPS трекером на мобильных устройствах (автомобилях, лодках и т.д.) позволяет определить распространение шторма с привязкой к своему местоположению и при необходимости изменить маршрут. Ряд настроек позволяет задавать сигналы оповещения о заведомо мощном разряде и о разряде молнии на критично близком расстоянии. Для этого на переднюю панель пеленгаторов серии LD выведены соответствующие индикаторы “Близкая гроза” (*Close Storm*) и “Сильная гроза” (*Severe Storm*), начинающие мигать при превышении установленных лимитов.

Пеленгатор Stormtracker по основным параметрам идентичен LD-250, обеспечивает ту же дальность, но не является автономным устройством [6]. Он представляет собой PCI-карту, вставляемую в слот материнской платы компьютера и для начала работы требующую только подключения внешней антенны и установки соответствующего программного обеспечения (рис. 4).



Рис. 4 – Внешний вид грозопеленгаторов Boltek.

Отображение информации обеспечивает предлагаемое ПО NexStorm, разработанное компанией Astrogenic [7]. Система позволяет определить местоположение разрядов молнии в полярных координатах, в центре системы координат располагается приемник. На монитор персонального компьютера выводится информация о пространственной локализации каждого из разрядов, позволяющая отследить скорость и направление перемещения грозового фронта, а также количество разрядов, зарегистрированных за последний час и за последнюю минуту. Главное окно NexStorm содержит различные необходимые индикаторы, метки и счетчики, объединенные в три группы и располагаемые справа от карты (рис. 5). Первая группа позволяет количественно оценить грозовую активность (удары молний в минуту, в том числе ближе заданного порога дальности, пеленг на них, процентное соотношение между различными типами разрядов и т.д.). Настраиваемые индикаторы событий (звуковые и визуальные) предупреждают об изменении грозовой обстановки в определенном секторе наблюдения. Ниже находятся системные настройки, включающие в себя помимо текущих даты и времени, данные о режимах отображения результатов измерения. Внешний вид карты легко регулируется под требования конкретного пользователя – в меню изменяется количество “колец” и расстояние между ними, длительность отображения молний и период времени, в который зарегистрирована гроза, а разные типы разрядов маркируются при помощи цвета. Окно статистики справа внизу содержит данные о длительности непрерывной работы пеленгатора, а также о максимальной интенсивности грозы за этот период с привязкой ко времени. Для наглядности эта зависимость представлена в виде двумерного графика.

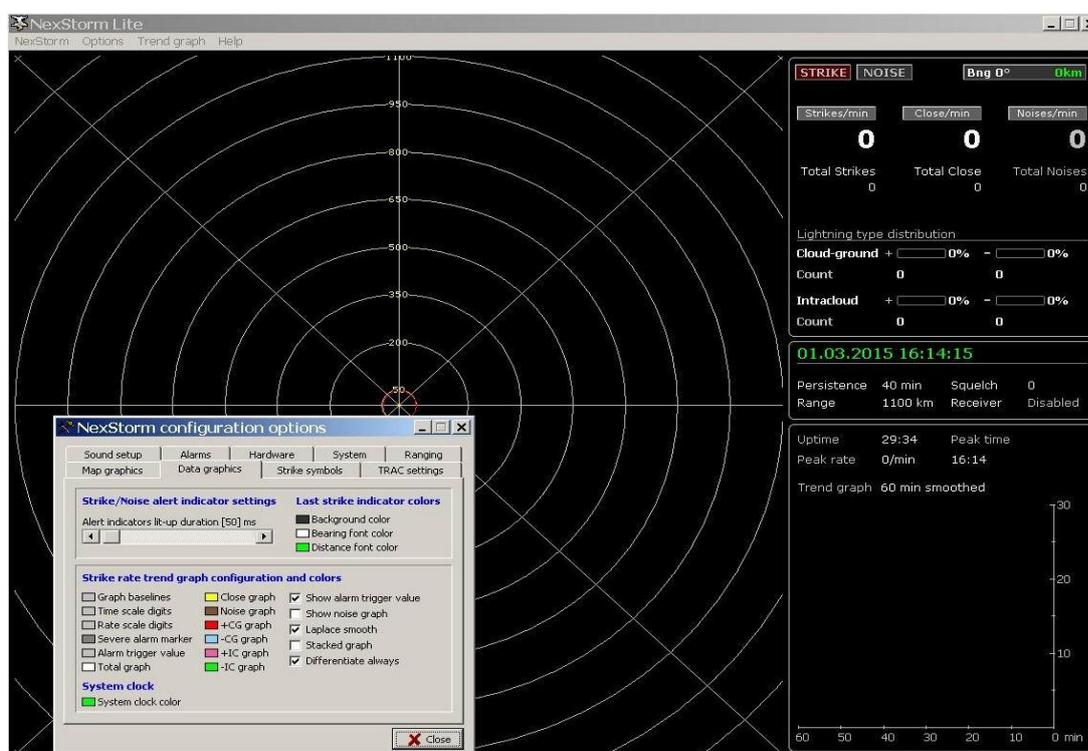


Рис. 5 – Внешний вид основного окна программы NexStorm.

Программируемый релейный модуль ERL-10 предназначен для дополнительной индикации данных, полученных от детекторов EFM-100 или LD-250. В случае возникновения грозовых разрядов модуль активирует релейные выходы, устанавливающие красный, оранжевый или желтый сигналы тревоги, при этом дальность обнаружения и длительность молний являются конфигурируемыми величинами [8].



Рис. 6 – Внешний вид и демонстрация работы вспомогательного модуля ERL-10.

### ***Примеры практического применения аппаратуры Voltek***

Оборудование Voltek в течение многих лет успешно эксплуатируется во всем мире как в профессиональных, так и в любительских системах, можно привести примеры практического использования и на территории России. Так, в рамках проведения исследовательских работ на базе НИИ ВН г. Томска в период 2008-2011 гг. осуществлялась регистрация грозовых явлений над территорией Томской области при помощи грозопеленгаторов LD-250 и StormTracker [9]. На основе измерений было получено временное распределение количества разрядов молний для двух участков исследуемой территории на удалении 360-480 км: северного (часть сектора между радиусами с направлениями  $340^\circ$  и  $20^\circ$ , где  $0^\circ$  – направление на север) и южного (часть сектора между радиусами с направлениями  $160^\circ$  и  $200^\circ$ ). По результатам были выявлены отличия во времени наступления максимумов суточного распределения количества разрядов в зависимости от широты, пространственное распределение средних значений числа разрядов внутри радиуса действия грозорегистраторов позволило определить два очага повышенной плотности разрядов молний ( $20$  разр./км<sup>2</sup> в год). Также были сделаны выводы, касающиеся применяемого оборудования. При измерениях зарегистрировано не более 10% ложных срабатываний пеленгаторов. Коэффициенты корреляции статистических рядов, полученных от двух разных грозорегистраторов (LD-250 и StormTracker), высоки и значимы с вероятностью не менее 99%.

Возможно и нестандартное применение пеленгаторов, например, для геофизического мониторинга геологической среды, при котором дистанционно отслеживаются процессы в земной коре. Теоретические разработки, лабораторные и полевые эксперименты по изучению сейсмоэлектромаг-

нитных явлений позволили установить физическую природу электромагнитного излучения (ЭМИ) горных пород в условиях изменяющегося деформационного процесса земных недр. Анализ изменений ЭМИ в период до и после Южно-Якутского землетрясения, а также в периоды повышенной сейсмической активности 2005–2007 гг. позволили классифицировать аномалии как отражение общих закономерностей деформационных процессов [10]. Новые возможности для интерпретации результатов электромагнитного мониторинга появились в результате проведения совместных работ с ИКФИА СО РАН методами однопунктовой пеленгации источников ЭМИ аппаратурой компании Voltek. Пеленгация источников ЭМИ осуществлялась с помощью трех антенн, принимающих вертикальную электрическую и две горизонтальные магнитные составляющие электромагнитного поля. В автоматическом режиме вычислялись азимут и расстояние до источника сигнала. При этом погрешность определения координат источника ЭМИ составила примерно 15 % от дальности, а максимальное стандартное отклонение по пеленгу около  $2,5^\circ$ . В настоящее время работы в данном направлении продолжаются, данные регистрируются при помощи однопунктовых грозопеленгаторов-дальномеров LD-250, установленных в трех городах: Якутске, Нерюнгри и Мирном.

### ***Заключение***

Изучение грозовой активности и развитие системы грозомониторинга в современных условиях является важнейшей задачей, требующей решения. Развитие высокотехнологической системы грозомониторинга помимо научно-прикладных целей позволит решать множество важнейших задач для всех отраслей экономики: грамотное проектирование любых инженерно-технических сооружений, обеспечение безопасной эксплуатации различных объектов, а также уменьшение экономического ущерба от грозовых явлений. Программно-аппаратные комплексы компании Voltek, отличающиеся высокой надежностью и простотой эксплуатации, позволяют в минимальные сроки развернуть систему наблюдения за грозовой активностью. Широкий спектр функциональных возможностей и дополнительных опций помогают получить оптимальное решение для заданных условий эксплуатации.

### ***Список используемой литературы***

- 1) Лукин А. Грозовая активноть и ее активность для нужд электроэнергетики. // Воздушные линии. 2013, №1.
- 2) Официальный сайт компании Voltek. // <http://www.voltek.com/>.
- 3) EFM-100 Atmospheric Electric Field Monitor. // Installation/Operators Guide. 2014 // [http://www.voltek.com/EFM-100\\_Manual\\_060414.pdf](http://www.voltek.com/EFM-100_Manual_060414.pdf).
- 4) LD-250 Lightning Detector. // Installation/Operators Guide. 2014 // <http://www.voltek.com/manual-ld-250.pdf>.

- 5) LD-350 Lightning Detector. // Installation/Operators Guide. 2014 // [http://www.boltek.com/LD-350%20User%20Manual\\_030712.pdf](http://www.boltek.com/LD-350%20User%20Manual_030712.pdf).
- 6) StormTracker Lightning Detector. // Installation/Operators Guide. 2014 // <http://www.boltek.com/manual-pci.pdf>.
- 7) NexStorm. Lightning Detection Software, Version 1.0. // User manual. September 2007. // <http://www.boltek.com/NexStorm%20Lite%20Manual.pdf>.
- 8) ERL-10 Programmable Output Relay Module. // Installation/Operators Guide. 2013 // <http://www.boltek.com/ERL-10%20User%20Manual%20-%20002052013.pdf>.
- 9) Константинова Д., Горбатенко В. Молнии над юго-востоком западной сибиря. // VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству. Сборник трудов. 24-28 сентября 2012 г, с. 133-135.
- 10) Трофименко С., Маршалов А., Гриб Н., Колодезников И. Алгоритм и программное решение в задаче по выявлению аномальных уровней электромагнитного излучения. // Фундаментальные исследования 2014, №11, с. 1281-1286.