

Научно-исследовательская работа

Технология

**СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ**

Выполнил:

Сашов Юрий Алексеевич

учащийся 10-го класса

ГБОУ школа №1310, г. Москва, РФ

Руководитель:

Дроздов Дмитрий Владимирович

Исследователь, канд.мед.наук

Лаборатория бизнес-решений на основе

искусственного интеллекта, МФТИ, г. Москва, РФ

Введение

Одной из особенностей нашей страны является расположение практически 65% ее территории в зоне вечной мерзлоты, рисунок 1 [7].



Рис.1. Территории с вечномерзлотными грунтами на карте РФ

Как видно из рисунка 1, это территории на которых расположено большое количество городов, добывающих предприятий, а также прочих экономически значимых объектов. Соответственно, важным является вопрос снабжения данных регионов, в том числе отдаленных и труднодоступных областей электроэнергией.

Строительство, в том числе линий электропередач, в условиях вечной мерзлоты имеет ряд особенностей. Как правило, применяется технология замораживания грунтов вокруг объекта строительства – использование термосифонов [8].

В наше время имеется активная тенденция таяния вечномерзлых грунтов [6] в результате чего почвы становятся сильнозаболоченными и труднопригодными для какого-либо размещения объектов инфраструктуры [14].

Одной из ключевых задач на этапе эксплуатационного контроля линий электропередач, размещенных в зонах с вечной мерзлотой является мониторинг состояния как линий электросвязи (наличие обрывов, утечек и т.п.), так и самих опор (деформации, наклон). Особенно важным для целей предотвращения аварийных ситуаций является, мониторинг состояния грунта около опоры. В настоящей работе предложен алгоритм построения информационной системы контроля, обеспечивающей мониторинг, всех приведенных выше параметром.

Основная часть

В настоящий момент времени широко применимы решения в части мониторинга состояния линий электропередач [10], а именно следующих параметров:

- сила тока в проводе;
- температуры провода (измеряется в каждом пролете);
- напряжения провода в изоляторе (проводится посредством размещения тензодатчика в точке подвеса провода на траверсе опоры линии электропередач);
- контроль окружающей среды (температура, ветер);
- контроль колебания проводов (проводится посредством акселерометра, размещенного в каждом пролете).

Часть датчиков размещается непосредственно на проводах, а часть на траверсах опор. Могут применяться дополнительные методы контроля высоты окружающей растительности посредством видеосъемки, например, с беспилотного летательного аппарата [2] или посредством стационарно установленной видеокамеры.

Контроль состояния опор линий электропередач (ЛЭП) осуществляется реже, для контроля используют волоконно-оптические датчики, которые отличает высокая точность. Объектом мониторинга, как правило, является напряженно-деформируемое состояние опор.

В условиях вечной мерзлоты проводят контроли состоянию грунта в районе опоры [13]. Однако эти решения нельзя назвать распространенным на общем фоне построения систем мониторинга линий электропередач [10].

Основные тенденции, в области мониторинга состояний ЛЭП приведены в таблице 1.

Таблица 1

Тенденция развития систем мониторинга состояния ЛЭП

Тенденция развития	Достижимый результат
Выявление по заданному критерию сигнала коронного разряда, вызванного повреждением изоляции и определение места повреждения изоляции линии электропередачи [4]	Контроль изоляции ЛЭП
Визуальный контроль с помощью беспилотного летательного средства [2, 4]	Контроль целостности
Датчики температуры и влажности на проводах [10]	Информация об обледенении, провисании или обрыве
Контроль наклона опоры (датчик наклона) [1]	Предотвращение повреждений и аварий на ЛЭП
Контроль температуры основания опоры (датчики температуры) [13]	Предотвращение повреждений и аварий на ЛЭП

Опираясь на эту информацию, мы можем построить систему комплексного мониторинга линий электропередач, заключающуюся в контроле состояния проводов, опор и грунта около опор с целью предотвращения аварийных ситуаций.

В случае использования нейронных сетей и возможностей искусственного интеллекта в систему может быть добавлен блок анализа видеоряда, полученного от стационарной видеокамеры или после планового пролета беспилотного летательного аппарата.

В этом случае, в качестве входных данных системы мониторинга используются:

1) датчики контроля провода DiLin-Sensor [11], передающие в цифровом представлении следующие параметры:

- сила тока в проводе;
- температура провода;
- температура и влажность окружающего воздуха;
- колебания провода (встроенный акселерометр);
- угол наклона провода (для контроля обледенения проводов).

Датчики располагаются на самих проводах. На каждом пролете ЛЭП должно быть минимум по одному датчику на провод;

2) оптические датчики, контролирующие состояние опор ЛЭП [3], передающие в цифровом представлении следующие параметры:

- локальная деформация;
- температура.

Датчики располагаются в основании опоры ЛЭП. При необходимости могут применяться дополнительные датчики деформации размещенные на различных уровнях ЛЭП. Для условий вечной мерзлоты обязательным является расположение датчиков на расстоянии от 1 до 20 м от опоры ЛЭП. Количество датчиков и места их расположения определяются отдельно, для каждого конкретного случая;

3) датчик положения опоры ЛЭП [5], передающий в цифровом представлении угол наклона объекта. Как правило, достаточным является один датчик на опору.

Все перечисленные датчики могут передавать данные по беспроводным линиям связи на базовую станцию. В зависимости от применяемых решений расстояние до базовой станции может составлять до 1,5 км.

На каждой базовой станции происходит аккумуляция данных, первичная обработка и передача их на центральную станцию. Передача данных производится по цифровым каналам связи, доступным в конкретном месте расположения базовой станции (оптоволоконный кабель, GSM или спутниковая

связь). На центральной станции производится окончательная обработка данных и вывод их на автоматическое рабочее место оператора.

Общая структурная схема системы мониторинга приведена на рисунке 2.

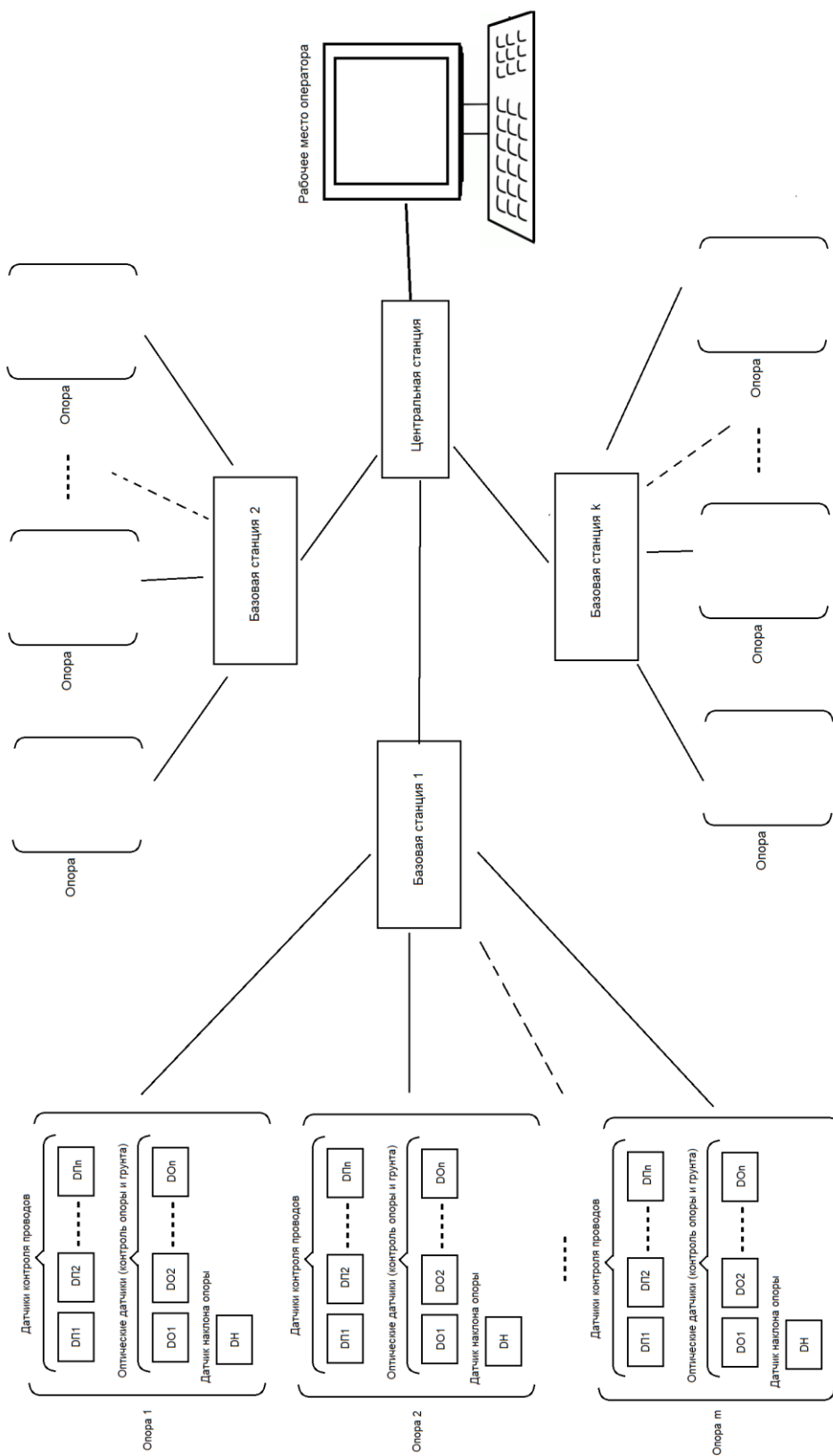


Рис. 2. Общая структурная схема системы мониторинга

При обработке полученных данных применяются следующие методы:

1) сравнение полученных показателей с установленными критическими значениями характеристик – в случае приближения показателей к пороговым значениям оператору будет выдана предупреждающая информация. В том случае, если показатели достигают или превышают пороговые значения – включается сигнал тревоги;

2) автоматическая реакция при достижении показателей значений реагирования, например:

- при достижении показателей температуры и влажности, значений, которые способствуют образованию гололеда на проводах – автоматическое увеличение силу тока для разогрева проводов (оказание термического воздействия) [12];

- при достижении показателя угла наклона провода (контроль обледенения) значения реагирования – автоматическая создание термомеханического воздействия для разогрева и стряхивания льда [12];

- при достижении показателей колебания проводов критического значения, могущего привести к обрыву линии – обесточивание ЛЭП;

- при достижении температуры почвы вокруг основания опоры значения реагирования – включение холодильной машины (в случае ее наличия) для дополнительного охлаждения термосифона;

3) анализ данных с целью формирования статистики. В дальнейшем возможны построения прогностических моделей с использованием систем искусственного интеллекта.

При дополнительном проведении визуального мониторинга окружающего пространства возможна организация круглосуточного визуального контроля с помощью нейросетей (нейросетевая видеоаналитика [9]), которая позволит:

- сгенерировать сигнал тревоги при определенных событиях – критический наклон близкостоящего дерева, падение веток на провода, возникновение пожара недалеко от ЛЭП и т.п.;

- выдать информационное сообщение оператору о скорой необходимости проведения профилактических работ, например, при разрастании кустовой поросли под ЛЭП.

Посредством нейросетей можно анализировать видеосъемку, проведенную с беспилотного летательного аппарата, что позволит снизить затраты человеческих ресурсов и повысит качество анализа изображений благодаря исключению ошибок, вызванных человеческим фактором (например, усталость).

Заключение

В заключении можно сказать, что в связи с постоянным изменением климата, а также таянием вечномёрзлых грунтов становится особенно актуальным мониторинг состояния ЛЭП не только в части состояния проводов, но и в части состояния опор и прилегающих к ним грунтов. Применение термосифонов позволяет устанавливать опоры ЛЭП на нестабильных грунтах, однако при выходе температурных показателей за критические пределы могут потребоваться дополнительные действия технического персонала для предотвращения аварийных ситуаций. Предложенная система мониторинга объединяет в себе классическую систему контроля состояния ЛЭП и систему контроля опор зданий и сооружений в условиях вечной мерзлоты. Объединение данных подходов позволит расширить номенклатуру передаваемых оператору данных. Решение направлено на предотвращение возникновения аварийных ситуаций и снижение тяжести последствия, благодаря своевременному принятию мер.

Список литературы:

1. Автоматизированная система мониторинга антенно-мачтовых сооружений и опор ЛЭП / Энергопрорыв / [Электронный ресурс] URL: <https://gridology.ru/projects/983> (дата обращения: 20.11.2020).
2. Беляев П.В., Головский А.П., Садаев Д.С. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов при контроле и диагностике объектов энергетики // ОмГТУ. 2019. №2.
3. Волоконно-оптические измерительные системы / Нева Технолоджи / [Электронный ресурс] URL: <https://nevatec.ru/products/ndt/opticalfiber.html> (дата обращения: 21.11.2020).
4. Галкин А.Г., Несенюк Т.А. Контроль и диагностика изоляторов линий электропередачи // Электрификация транспорта. 2013. №6.
5. Датчик угла наклона ZEROTRONIC $3 \pm 1^\circ$ с прямоугольной монтажной поверхностью / ТМЕ-оснастка / [Электронный ресурс] URL: <https://tme-osnastka.ru/izmeritelnyy-instrument/inklinometry-cifrovyye/datchik-ugla-naklona-zerotronic-wyler.html> (дата обращения: 22.11.2020).
6. Елисеев Д.О., Наумова Ю.В. Транспортная инфраструктура арктических регионов России в условиях деградации вечной мерзлоты // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. №10-1.
7. Кириллова Е. Вечная мерзлота. Вечная мерзлота на карте России / [Электронный ресурс] URL: https://www.syl.ru/article/197798/new_vechnaya-merzlota-vechnaya-merzlota-na-karte-rossii#image866887 (дата обращения: 18.11.2020).
8. Колосков Г.В., Ибрагимов Э.В., Гамзаев Р.Г. К вопросу выбора оптимальных систем термостабилизации грунтов при строительстве в криолитозоне // Геотехника 2016, №6, С. 4–11.
9. Нейросетевая видеоаналитика / АххонSoft / [Электронный ресурс] URL: <https://www.itv.ru/deep-learning-analytics/> (дата обращения: 25.11.2020).
10. Самарин А., Масалов В. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП / Control Engineering Россия / [Электронный

ресурс] URL: <https://controlengrussia.com/otraslevye-resheniya/sovremennyye-tehnologii-monitoringa-vozdushny-h-e-lektrosetej-le-p/> (дата обращения: 19.11.2020).

11. Системы мониторинга и диагностики воздушных ЛЭП (аварийные регистраторы) / Электронприбор / [Электронный ресурс] URL: <https://www.electronpribor.ru/catalog/391/dilin.htm#about> (дата обращения: 21.11.2020).

12. Способы борьбы с обледенением на проводах ЛЭП в рамках технической политики ФСК ЕЭС / Аваток / [Электронный ресурс] URL: <https://avatok.ru/stati/103-sposoby-borby-s-obledeneniem-na-provodakh-lep-v-ramkakh-tekhnicheskoj-politiki-fsk-ees> (дата обращения: 24.11.2020).

13. Хахулин О.А., Кузнецов П.А. Мониторинг состояния фундаментов и опор ВЛ в условиях вечной мерзлоты // Роль опорного вуза в развитии транспортно-энергетического комплекса Саратовской области (ТРАНСЭНЕРГОКОМ-2018) : сб. науч. тр. по материалам всерос. науч.-практ. конф., г. Саратов, 16-17 мая 2018 г. - Саратов, 2018. - Т. 1. - С. 84-88.

14. Щербина Е. Таяние вечной мерзлоты угрожает российским трубопроводам. Из-за таяния грунта пострадают дома, дороги и прочие инфраструктурные сооружения / [Электронный ресурс] URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/6816576> (дата обращения: 19.11.2020).