

Куликов А.Л., Ананьев В.В., Обалин М.Д.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства
образования и науки РФ (соглашение №14.577.21.0124 о
предоставлении субсидии от 20.10.2014, уникальный
идентификатор проекта RFMEF157714X0124)

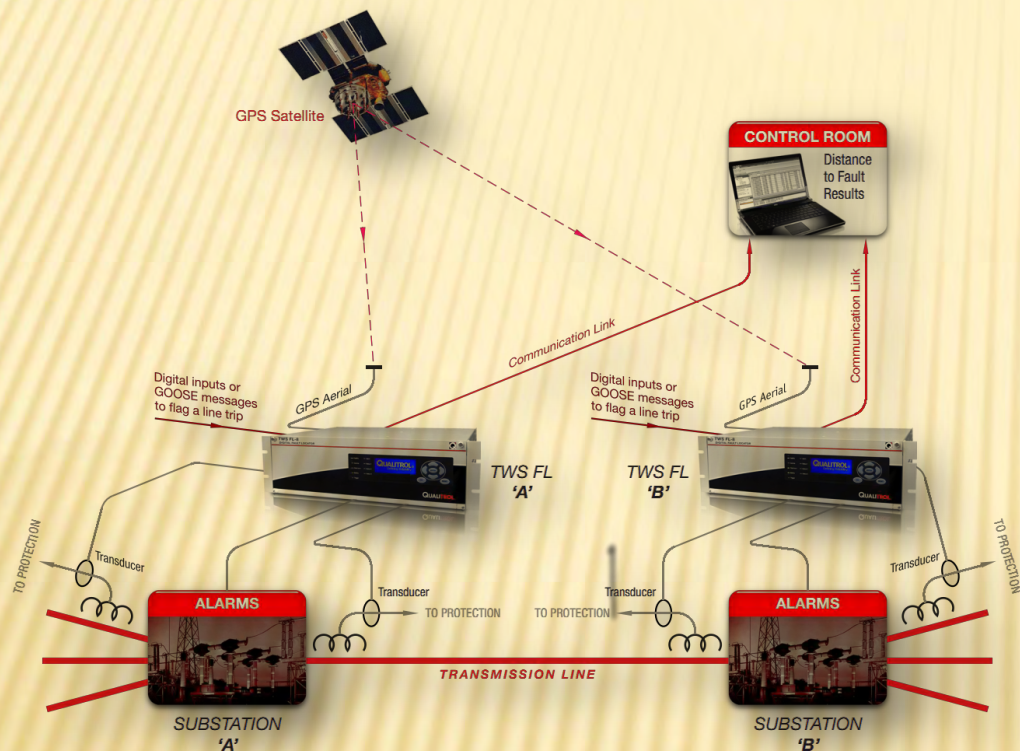
ВОЛНОВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ЛИНИЯХ С ОТПАЙКАМИ



Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева

Сочи, 2015

ПРИНЦИП РАБОТЫ



По концам линии
устанавливаются устройства
регистрации электромагнитных
волн. На основе разности
времени прихода э/м волн
оценивается расстояние до
повреждения

$$x = 0,5[L + v(t_A - t_B)]$$

НЕДОСТАТОК СУЩЕСТВУЮЩИХ АЛГОРИТМОВ

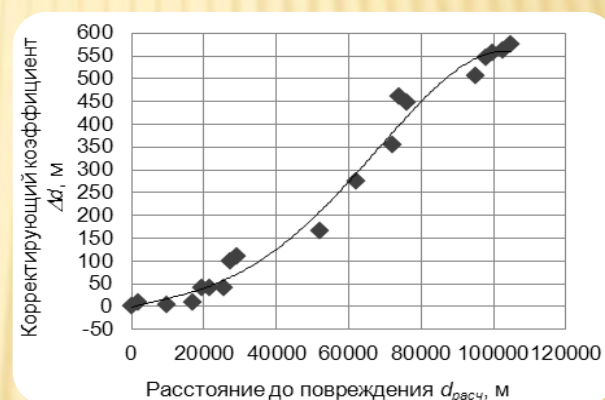
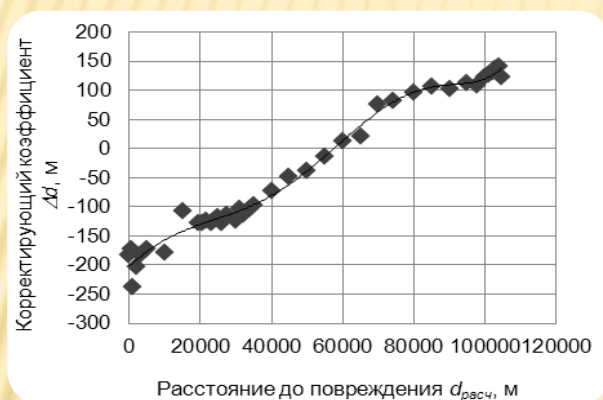
Не учитывается реальная скорость распространения электромагнитных волн. В результате, точность устройств может быть соизмерима с точностью ОМП по параметрам аварийного режима.

Методы компенсации ошибок:

- адаптация алгоритма под индивидуальные характеристики ЛЭП;
- приспособление алгоритма под изменяющиеся факторы;
- применение навигационных алгоритмов оценки расстояния;
- статистическая обработка информации.

АДАПТАЦИЯ ПОД ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЭП

Осуществляется с применением имитационного моделирования: производится сравнение оценки расстояния по исследуемому алгоритму с истинным расстоянием до повреждения.



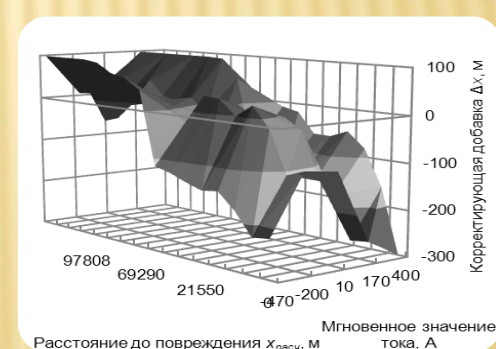
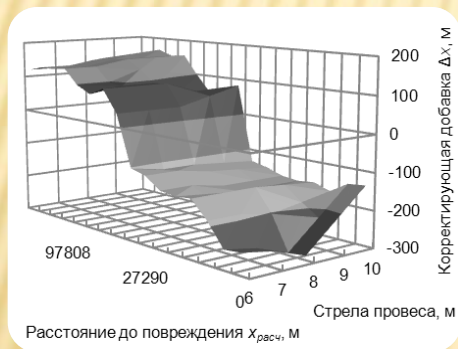
Корректировки для ЛЭП 220 кВ Бобовья-Кудья

Корректировки используются в последующем для уточнения оценок расстояния до повреждения.

Достоинство метода в том, что он может быть применен совместно с любым алгоритмом волнового ОМП.

УЧЕТ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

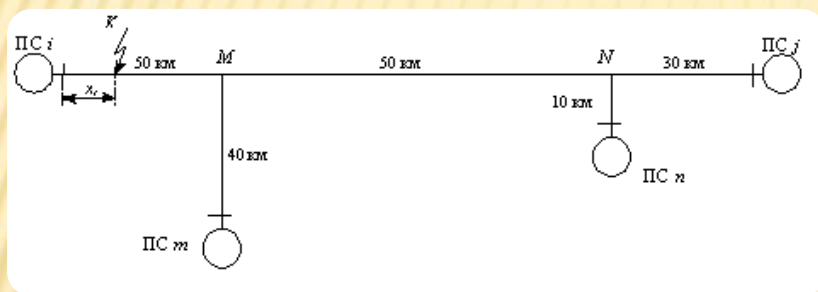
Адаптация алгоритма под индивидуальные характеристики ЛЭП, рассмотренная на предыдущем слайде позволяет рассчитать корректировки для фиксированных значений влажности грунта, стрелы провеса, температуры провода фазы и т.д. Расчет графиков корректировок при изменяющихся факторах позволяет повысить точность дополнительно до 100 м.



Корректировки для ЛЭП 220 кВ Бобыльская-Кудьма с учетом изменяющихся внешних факторов

ПРИМЕНЕНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ

Навигационные алгоритмы позволяют повышать точность измерений за счет избыточности устройств регистрации (три и более). Измерение расстояния с использованием двух пунктов регистрации приводит к ошибкам (например, за счет рассинхронизации времени). Использование третьего пункта регистрации позволяет частично компенсировать эту ошибку



$$\begin{cases} x_i = 0,5 \cdot [L_i + L_j + P_{ij} + v(t_i - t_j)] + \Delta x \\ \Delta x = 0,5 \cdot [L_i + L_n + P_{in} + v(t_i - t_n)] - x_i \end{cases}$$

$$x_i = 0,25 \cdot [2L_i + L_j + L_n + 2P_{MN} + v(2t_i - t_j - t_n)]$$

Дальнейшее повышение точности может быть достигнуто с использованием четвертого пункта регистрации и так далее

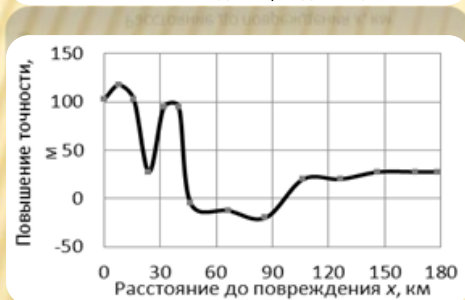
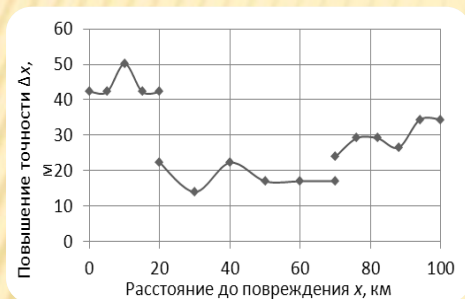
$$x_i = 0,125 \cdot [4L_i + 2L_m + L_j + L_n + 2P_{MN} + v(4t_i - 2t_m - t_j - t_n)]$$

Достоинством навигационных методов является то, что они не накладывают жесткие ограничения на устройства регистрации электромагнитных волн.

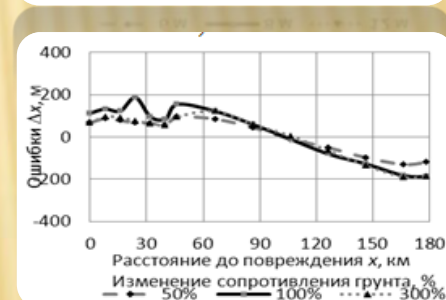
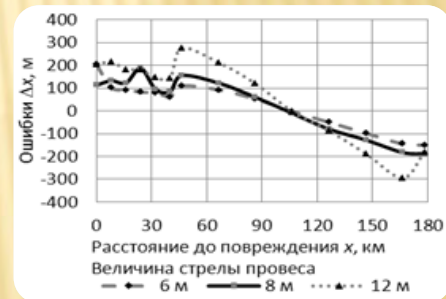
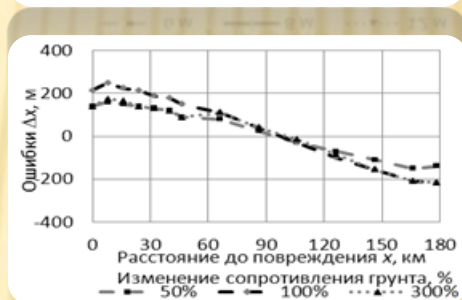
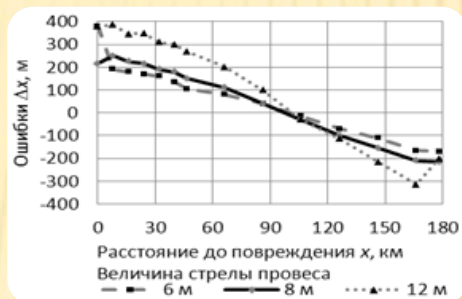
ТОЧНОСТЬ НАВИГАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ

Повышение точности
навигационных алгоритмов

Навигационные алгоритмы менее подвержены
влиянию внешних факторов



Совместно с навигационными
алгоритмами может быть
применен алгоритм учета
индивидуальных особенностей ЛЭП
и алгоритм учета изменяющихся
внешних факторов



СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Избыточная информация может быть использована не только в навигационных алгоритмах, но и алгоритмами статистической обработки информации. Статистическая обработка информации позволяет определить зону обхода. Зона обхода характеризуется дисперсией оценок расстояния

$$D_{i(i;m)}(x_i) = M[X_{i(i;m)} - M_{i(i;m)}(x_i)]^2$$

Оценка расстояния до повреждения

$$x_{\text{рез}} = \frac{\sum_k \frac{x_{i(k)}^{\text{кор}}}{D_k(x_{i(k)}^{\text{кор}})}}{\sum_k \frac{1}{D_k(x_{i(k)}^{\text{кор}})}}$$

Результирующая дисперсия

$$D_{\text{рез}}(x_i) = \frac{1}{\sum_k \frac{1}{D_k(x_i)}}$$

При оценке используются
центрированные (скорректированные)
случайные величины

$$x_{i(i;m)}^{\text{кор}} = x_{i(i;m)} + \Delta_{(i;m)}(x_{i(i;m)})$$

$$\Delta = x_i - M_{i(i;m)}(x_i)$$

ТОЧНОСТЬ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Истинное расстояние до повреждения, м	10000	20000	30000
Оценка по паре устройств $x_i(i;m)$, м	9954	19962	29970
Оценка по паре устройств $x_i(i;n)$, м	9937	19936	29953
Оценка по паре устройств $x_i(i;j)$, м	9929	19919	29936
Корректировка $\Delta(i;m)$, м	46	38	25
Корректировка $\Delta(i;n)$, м	62	53	40
Корректировка $\Delta(i;j)$, м	77	68	55
Дисперсия $D_i(i;m)$, м ²	50	30	30
Дисперсия $D_i(i;n)$, м ²	55	60	68
Дисперсия $D_i(i;j)$, м ²	120	92	76
Результирующая дисперсия, м ²	24	16	16
Результирующая оценка, м	10001	19995	29994
Зона обхода, м	15	12	12

Примечание: моделирование шумов на ЛЭП не проводилось, зоны обхода соответствуют предельно достигаемой точности метода статистического объединения результатов многостороннего ВОМП.

Точность повышается от 5 до 10 раз. Зона обхода находится в пределах прямой видимости.

ВЫВОДЫ

1. ВОМП содержит методическую ошибку, так как использует при оценке расстояния одинаковое значение скорости распространения электромагнитной волны для повреждений любой удаленности. Величина ошибки оценки ВОМП ЛЭП может быть соизмерима с ошибкой ОМП по параметрам аварийного режима.
2. Значительного повышения точности можно достичь за счет учета индивидуальных характеристик защищаемой ЛЭП. Предложена методика повышения точности, основанная на учете внешних факторов, это позволяет увеличить точность до 100 метров по каждому учитываемому фактору.
3. Разработаны многосторонние алгоритмы ВОМП, позволяющие повысить точность оценки расстояния до повреждения ЛЭП на линиях с отпайками и промежуточными подстанциями.
4. Обоснован статистический метод обработки результатов при многосторонних измерениях. Зона обхода ЛЭП для ВОМП находится в пределах прямой видимости.

Спасибо за внимание