

## О растапливании обледенения ЛЭП нагревом

Волченко К.М., Гимадиев Р.Ш., Якимов Н.Д., Халитов Ф.Г.

Казанский государственный энергетический университет, Казань

Провода ЛЭП подвергаются нагружению собственным весом, ветровой нагрузкой и гололедно-изморозевыми отложениями в осенне-весенний период. При растапливании обледенения реализуется двухфазная среда – лед и вода, которые взаимодействуя с нагретым проводом освобождают провод от обледенения.

Место положения гололедных отложений определяются радиолокационными методами [1]. Динамические процессы в проводах исследованы в работах [2,5], из которых следует, что параметры нагружения линии при растапливании существенно влияют на динамику нагружения и разрыва проводов ЛЭП. Подходы и установки плавки гололеда разработаны в [3,4].

При таянии между льдом и нагретым проводом образуется прослойка воды, вытесняемой по щели вниз под действием веса льда (стремящегося опуститься). Поэтому эта прослойка наиболее тонкая сверху провода. Теплопроводность льда и особенно воды низкая, поэтому сверху провода и происходит основная передача теплоты от провода ко льду, и практически только там лёд тает, опускаясь в целом вниз, и оставляя протаявший канал (он оказывается под проводом), с шириной, близкой к диаметру  $d$  провода. Выделившаяся в проводе теплота оказывается потраченной в основном на плавление льда в этом канале. По сравнению с ней затраты теплоты на подогрев этого льда перед плавлением (при начальных температурах, близких к  $0^{\circ}\text{C}$ ) будут пренебрежимо малыми, как и теплота на нагрев льда, остающегося нерастаявшим. Более заметную величину может иметь теплота, затрачиваемая на разогрев самого провода до “рабочей” температуры.

Процесс плавления льда заканчивается, когда канал таяния доходит до верхнего края льда, и лёд слетает с провода, фото из эксперимента. Следовательно, общее время процесса определяется временем, за которое в проводе за счёт электронагрева выделится сумма указанных выше теплот.

Пусть диаметр провода (ширина канала)  $d = 6,8$  мм, толщина льда  $h = 51,6$  мм, нагрев

$Q = 25$  Вт при длине  $l = 0,4$  м, то есть в проводе выделяется теплота  $q_l = Q/l = 62,5$  Вт/м. Здесь нагрев слабый, температура провода явно лишь немного выше  $0^{\circ}\text{C}$ , тогда на протаивание надо  $W \sim 110$  кДж/м. Время процесса составит порядка  $\tau = W/q_l \approx 1760$ с (примерно 29 мин). Это подтверждается экспериментом.



*Пример с более интенсивным нагревом.*

Диаметр провода  $d = 5$  мм, толщина льда  $h = 4$  мм, нагрев  $q_l = 1300$  Вт/м. Тогда  $W \sim 6200$  Дж/м. Без учёта разогрева провода  $\tau_{\text{н}} = W/q_l \approx 4,8$ с, с учётом – порядка 6,5 с.

### Список литературы:

- [1] Минуллин Р. Г., Фардиев И. Ш. Локационная диагностика воздушных линий электропередачи: монография / - Казан. гос. энерг. ун-т, Казань: 2008. - 203 с.
- [2] Гимадиев Р.Ш., Динмухаметов Ф.Ф. Моделирование разрыва линий передачи энергий // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2008. № 7-8. С. 137-143.
- [3] Маркин Ю.С., Гимадиев Р.Ш., Галимуллин Н.Р., Динмухаметов Ф.Ф., Маркин О.Ю., Петрушенко Ю.Я. Стенд для изучения процессов обледенения и растаивания проводов электрических цепей. Патент № 88841 (51) Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Опубликовано: 20.11.2009. Бюл. № 32.
- [4] Антонов Б.М., Исакаев Э.Х., Коновалов П.А., Королев В.А., Мордынский В.П., Сон Э.Е., Терешенок Д.В., Тюфтяев А.С. Создание мобильной установки для плавки гололеда на проводах ВЛ и энергоэффективность ее использования // Известия РАН. Энергетика. 2013. С.155-159.
- [5] Gimadiev R.Sh. Power Line Deformation Dynamics / Mechanics of Solids, 2019, Vol. 54, No. 6, pp. 903-914.