ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРОВОДА ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ОТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ С РАЗЛИЧНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

***Минкин А. С.,*** *ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань, РФ*

**Аннотация:** Исследуются изменения механического напряжения в проводах высоковольтных линий электропередачи в зависимости от толщины стенки гололедно-изморозевых отложений с различными значениями плотности без учета ветровых нагрузок и при их наличии.

**Ключевые слова:** Механическое напряжение, высоковольтные линии электропередачи, гололед, гололедно-изморозевые отложения.

Повреждения на воздушных линиях электропередачи из-за образования гололедно-изморозевых отложений на проводах являются серьезными и трудно устранимыми. Такие аварии имеют массовый характер и приносят большой ущерб поставщикам и потребителям электрической энергии. Согласно данным об аварийных отключениях на объектах энергетики, доля аварий по причине гололедообразования составляет порядка 20% [1]. Мониторинг состояния линий электропередачи с учетом погодных условий позволяет своевременно предотвращать такие аварии [1, 2].

Решением уравнения состояния провода в пролете [3, 4], найдены значения механического напряжения провода от толщины стенки гололедных отложений с плотностями 0,3г/см3 (изморозь), 0,6г/см3 (гололед) и 0,9г/см3 (гололед) при отсутствии ветра (рис.1) для воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ с длиной пролета 220 м, маркой провода АС–120/19, для которой механическое напряжение разрыва (максимальное механическое напряжение) σмах=30,43даН/мм2, удельные нагрузка собственного веса провода γ0=3,45 кГ/м мм.2



Рис. 1. Зависимость механического напряжения провода от толщины стенки гололедно-изморозевых отложений для различных значений его плотности (сплошная линия – максимальное значение механического напряжения провода АС-120/19, штриховая – ρ=0,9 г/см3, штрих-пунктирная – ρ=0,6 г/см3, пунктирная – ρ=0,3 г/см3).

Из рисунка 1 видно, что чем меньше плотность гололедно-изморозевых отложений, тем при больших значениях толщины стенок отложения достигается максимальное значение механического напряжения. В таблице 1 приведены допустимые значения толщин стенок гололеда и 60-ти процентные уровни от этих значений толщин стенки для рассматриваемой линии.

Таблица 1

Допустимые значения толщин стенок гололеда

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ρ, г/см3 | 0,3 | 0,6 | 0,9 |
| bmax, мм | 61,5 | 41,5 | 32,7 |
| 60% bmax, мм | 36,9 | 24,9 | 19,6 |

Видно, что толщины стенок изморозевых отложений с плотностями 0,3 г/см3 и гололедных отложений с плотностями 0,9 г/см, при которых достигается максимально значение механического напряжение провода, отличается почти в два раза (61,5 мм и 32,7 мм).

Поэтому для определения реального состояния воздушной линии электропередачи при гололедообразовании на проводах необходимо контролировать не только изменение толщины стенки гололедно-изморозевых отложений, но и определять их плотность, которая для различных видов гололеда может различаться в разы. Эту важную задачу мониторинга состояния линии электропередачи позволяет решить метод локационного зондирования [1, 5], который основан на измерениях значений затухания и запаздывания отраженных импульсных сигналов, которые зависят от плотности изморозево-гололедных отложений и их геометрических размеров. В [2] теоретически и результатами выполненных нами измерений показано, что изменения затухания Δα и запаздывания Δτ локационных сигналов по ЛЭП зависят от конструктивных параметров ЛЭП (радиуса проводов r, расположения и расщепления фазных проводов, схемы организации высокочастотного тракта и др.), от частоты локационного сигнала f и от параметров гололедно-изморозевых отложений (толщины стенки b, плотности ρ, температуры θ, протяженности l). В частности, теоретически получена зависимость комплексной диэлектрической проницаемости ε и тангенса угла диэлектрических потерь tg*δ* от плотности гололедно-изморозевых отложений. По экспериментальным данным измерений, проведенных локационным комплексом, получены величины стенки гололедно-изморозевых отложений и их плотности, которые могут вызвать аварии на воздушных линиях электропередачи.

К гололедной нагрузке на провода электропередачи может добавляться ветровая нагрузка [6, 7], которая при больших значениях перпендикулярной к линии составляющей скорости ветра, может оказаться больше гололедной. На рисунках 2 и 3 приведены результаты расчетов механического напряжения провода от перпендикулярной к линии электропередачи составляющей скорости ветра при различных значениях толщины стенки гололедно-изморозевых отложений с плотностями 0,3г/см3 (изморозь) и 0,9г/см3 (гололед) соответственно.



Рис. 2. Зависимость механического напряжения провода от скорости ветра для различных значений толщины стенки изморози плотностью 0,3 г/см3 (сплошная линия – максимальное значение механического провода, штриховая – *b*=25 мм, штрих-пунктирная – *b*=15 мм , пунктирная – *b*=5 мм).

**

Рис. 3. Зависимость механического напряжения провода от скорости ветра для различных значений толщины стенки гололеда плотностью 0,9 г/см3 (сплошная линия – максимальное значение механического провода, штриховая – *b*=25 мм, штрих-пунктирная – *b*=15 мм , пунктирная – *b*=5 мм).

Из сравнения рисунков 2 и 3 видно, для изморози с плотностью 0,3 г/см3 влияние ветра на механическое напряжение провода оказывается сильнее.

При прогнозировании механического воздействия гололедно-изморозевых отложений на проводах воздушных линиях электропередачи, которые могут вызвать аварии, необходимо учитывать и влияние ветровых нагрузок.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Минуллин, Р.Г. Локационный мониторинг гололеда и повреждений на линиях электропередачи м/ Р.Г. Минуллин.–Казань: КГЭУ, 2022.– 439с.
2. Касимов. В.А. Метод локационного мониторинга гололедообразования и повреждений на воздушных линиях электропередачи и программно-аппаратные комплексы для его реализации: специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/ Касимов Василь Амирович; КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева.–Казань, 2019.– 395 с.
3. . Минуллин, Р.Г. Анализ допустимых значений толщины стенки гололеда на проводах высоковольтных линий электропередачи/ Р.Г. Минуллин, А.С. Минкин, Э.Ю. Абдуллазянов, В.А. Касимов// Кибернетика энергетических систем: Сборник материалов ХL научного семинара по тематике «Электроснабжение» (25-26 сентября 2018 г., Новочеркасск). – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2018. – С. 160-163.
4. Проектирование механической части ВЛ - расчет сталеалюминиевого провода на прочность [Электронный ресурс] <https://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/proektirovanie-mehanicheskoy-chasti-vl-6.html>
5. Минуллин, Р.Г Программно-аппаратные комплексы локационного мониторинга воздушных линий электропередачи/ Р.Г. Минуллин., В.А. Касимов, А.С. Минкин, Ю.В. Писковацкий, Т.К. Филимонова //Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике. Материалы XIII всероссийской научно-технической конференции. Чебоксары, 2022. С. 271-274.
6. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е издание.-М.: ЭНАС. 2005.
7. . Климатические факторы и расчетные нагрузки, действующие на элементы линий электропередач [Электронный ресурс] URL <http://scbist.com/scb/uploaded/kontaktnaya-set/3.htm>

***Минкин Ахметгарей Султанович****, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры РЗА,* ФГБОУ ВО «КГЭУ». *Физический факультет Казанского государственного университета в 1979 году. В 1988 году, Физика ионосферы. E-mail: cntnur\_mn@mail.ru.*