

РОЗРАХУНОК ПРОВІДІВ І ТРОСІВ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ З УРАХУВАННЯМ МЕХАНІЧНОЇ МІЦНОСТІ ВІДКЛАДЕНЬ ОЖЕЛЕДІ

М. М. Кримський

ДП і НДІ «Укренергомережпроект»

Червоношкільна набережна, 2, м. Харків, 61003, Україна.

А. Ю. Мезеря, Є. О. Занихайло

Українська інженерно-педагогічна академія

вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна. E-mail: OneginEA@mail.ru

Статистика аварійних ситуацій свідчить, що більше половини відмов елементів повітряних ліній викликано дією понад розрахункових навантажень від вітру та ожеледі на проводи, троси та будівельні конструкції. Існуюча методика розрахунку проводів виходить з того, що льодова оболонка не сприймає ніякого зусилля, і все тяжіння припадає на провід і, тим самим, не точно визначає виникаючі навантаження. Значення дійсних навантажень на проводи і опори повітряних ліній можна отримати, розглядаючи роботу проводів з урахуванням міцності оболонки ожеледі. При розриві оболонки ожеледі виникає динамічний вплив на провід (трос), і має місце різке збільшення тяжіння по проводу в місці розриву оболонки ожеледі. Для оцінки динамічного впливу при розриві оболонки ожеледі її можна подати як напругу, що сконцентрована в оболонці ожеледі, помножену на динамічний коефіцієнт. Таким чином отримані залежності дозволяють більш точно визначати дійсні значення напруги в проводах і тросах повітряних ліній при утворенні ожеледі та паморозі.

Ключові слова: провід, повітряна лінія, ожеледь, механічний розрахунок.

РАСЧЕТ ПРОВОДОВ И ТРОСОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С УЧЕТОМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ГОЛОЛЕДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

М. М. Крымский

ГПИ и НИИ «Укрэнергосетьпроект»

Красношкольная набережная, 2, г. Харьков, 61003, Украина.

А. Ю. Мезеря, Е. А. Заныхайло

Украинская инженерно-педагогическая академия

ул. Университетская, 16, г. Харьков, 61003, Украина. E-mail: OneginEA@mail.ru

Статистика аварийных ситуаций свидетельствует, что более половины отказов элементов воздушных линий вызвано действием сверхрасчетных гололедно-ветровых нагрузок на провода, тросы и строительные конструкции. Существующая методика расчета проводов исходит из того, что ледовая оболочка не воспринимает никакого усилия, и все тяжение приходится на провод и, тем самым, не точно определяет возникающие нагрузки. Значения действительных нагрузок на провода и опоры воздушных линий можно получить, рассматривая работу проводов с учетом прочности гололедной оболочки. При разрыве гололедной оболочки возникает динамическое воздействие на провод (трос), и имеет место резкое увеличение тяжения по проводу в месте разрыва гололедной оболочки. Оценку динамического воздействия при разрыве гололедной оболочки можно представить как напряжение, которое сконцентрировано в гололедной оболочке, умноженное на динамический коэффициент. Таким образом, полученные зависимости позволяют более точно определить действительные значения напряжения в проводах и тросах воздушных линий при образовании гололедно-изморозевых отложений.

Ключевые слова: провод, воздушная линия, гололед, механический расчет.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Повітряні лінії електропередачі (ПЛЕП) середньої та високої напруги є основою енергосистеми України. Пошкодження ПЛЕП 35–750 кВ призводить до багатомільйонних збитків і знеструмлення цілих районів і населених пунктів. При аваріях на ПЛЕП у результаті ожеледі часто відбуваються обриви проводів і тросів. Середній час ліквідації аварій від ожеледі перевищує середній час ліквідації аварій, викликаних іншими причинами, у 10 і більше разів. Це висуває підвищені вимоги до надійності і якості електропостачання.

Значною мірою аварійність ПЛ обумовлена недо-

статнім урахуванням усіх кліматичних факторів у зоні проходження трас повітряних ліній (ПЛ). Статистика аварійних ситуацій свідчить, що більше половини відмов елементів ПЛ викликано дією понад розрахункових навантажень від ожеледі та вітру на проводи, троси і будівельні конструкції [1, 2]. Зазвичай вони є наслідком недообліку при проектуванні фактичних навантажень від вітру та ожеледі [1].

Стратегія розвитку енергетики повинна обумовлюватись стратегією розвитку економіки, де головним критерієм енергетичної політики в світі є надійність електропостачання, екологічна сумісність

та рентабельність [3]. Звідси підвищення надійності ліній електропередачі, що проходять у районах із підвищеною ожеледицею, стало актуальним завданням.

Низка авторів підіймає питання необхідності обліку додаткових факторів, які впливають на механічний розрахунок проводів і тросів ПЛ. Але врахування додаткового впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на утворення ожеледі зводиться до поправочних коефіцієнтів при розрахунку навантаження при ожеледі та паморозі. Автори розглядають додаткове навантаження як статичне. У роботі [4] розглядається деяке інше бачення цього питання. Автор у [4] пропонує враховувати фізико-механічні властивості ожеледі на проводах і тросах ПЛ. Додаткове навантаження пропонується враховувати як складову з двох частин: статична частина від маси ожеледі та додаткова динамічна частина навантаження, яка утворюється при розриві оболонки ожеледі і напруження, яке утворюється в ожеледі, передається на провід.

Після аналізу цих робіт було виявлено, що питання врахування фізико-механічних властивостей ожеледі розглянуто не достатньо, і не сформульовано математичного виразу врахування динамічного впливу додаткового навантаження, яке утворюється при розриві оболонки ожеледі на проводах і тросах ПЛ.

Метою цієї роботи є уточнення математичного виразу механічного стану проводів і тросів ПЛ з урахуванням динамічного впливу додаткового навантаження, яке утворюється при розриві оболонки ожеледі.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Розрахунок проводів і тросів ПЛ на механічну міцність включає в себе визначення напружень при різних умовах роботи. При зміні кліматичних умов змінюються питомі навантаження, температура проводу і напруження в його матеріалі. Для визначення напружень у матеріалі проводу при різних кліматичних умовах використовують рівняння стану проводу, яке має вигляд [4–6]:

$$\begin{aligned} \sigma_n - \frac{\gamma_n^2 \cdot l^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_n^2} &= \\ = \sigma_m - \frac{\gamma_m^2 \cdot l^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_m^2} - \alpha \cdot E(t_n - t_m) \end{aligned} \quad (1)$$

де γ_n – чинне напруження в проводі, кгс/мм²; γ_m – питоме навантаження, що діє на провід, кг/м·мм²; γ_n – напруження в проводі при відомих початкових умовах, кгс/мм²; γ_m – питоме навантаження при відомих початкових умовах, кг/м·мм²; E – усталений модуль пружності, кгс/мм²; σ – коефіцієнт лінійного розширення проводу, 1/°C; l – довжина прольоту, м;

t_n – температура при діючому навантаженні, °C; t_m – температура при відомих початкових умовах, °C.

Рівняння стану пов'язує зазначені вище параметри двох різних режимів. За допомогою цього рівняння можна по заданим вихідним умовам γ_m , γ_n і t_n визначити напруження в матеріалі проводу γ_n при нових умовах, що змінилися γ_n і t_n [4–6].

Рівняння (1) є наближеним. Воно виведено на основі наближених виразів для довжини проводу та деформацій. Крім того, воно придатне для розрахунку напруження в прольотах з однаковою або незначною різницею висот точок підвісу проводу. Для більшого числа помірних довжин прольотів з незначними ухилами, відповідних прольотів, на які розраховані уніфіковані опори, застосування рівняння (1) дає цілком задовільні результати [4].

При впливі вітрового навантаження в прольотах з ухилами проводи будуть розташовуватися у різних неперпендикулярних площинах, ізолюючі підвіски і опори будуть розташовуватися в інших площинах. Система координат тому повинна бути просторовою і ув'язуватися з параметрами прольотів і опор [4].

Найбільш прийнятною для розрахунків ПЛ виявилася просторова прямокутна система координат, зображена на рис. 1.

Для кожного прольоту вибирається своя система координат x, y, z , в якій початок поєднується з точкою підвісу проводу на першій опорі даного прольоту, при цьому вісь x прямує горизонтально уздовж вісі прольоту, вісь y – перпендикулярно вісі x в горизонтальній площині, вісь z – перпендикулярно вісі x у вертикальній площині. Позитивний напрямок вісі y – вправо від вісі траси, вісі z – вниз (рис. 1, а). Проліт та його проекції позначаються відповідно l_x, l_y, l_z .

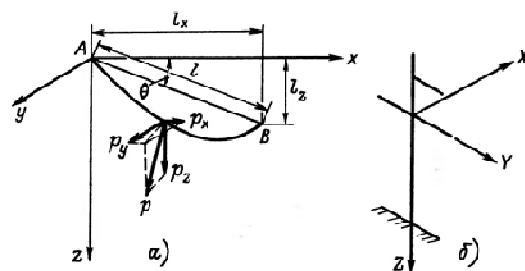


Рисунок 1 – Система координат:
а – в прольоті; б – на опорі

Параметри, що характеризують похилу площину, в якій в загальному випадку розташовується провід називаються кутові коефіцієнти N і R і які визначаються за формулами [4]:

$$N = \frac{\gamma_z \cdot \sin\theta}{\gamma} = \frac{l_z \cdot \gamma_z}{l \cdot \gamma} \quad (2)$$

$$R = \sqrt{1 - \left(\frac{\gamma_z \cdot \sin\theta}{\gamma}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{\gamma_z \cdot l_z}{\gamma \cdot l}\right)^2} \quad (3)$$

Рівняння стану проводу з урахуванням параметрів, що характеризують похилу площину має вигляд:

$$\frac{\sigma_n}{R_n} - \frac{\gamma_n^2 \cdot l^2 \cdot R_n^4 \cdot E}{24 \cdot \sigma_n^2} = \frac{\sigma_m}{R_m} - \frac{\gamma_m^2 \cdot l^2 \cdot R_m^4 \cdot E}{24 \cdot \sigma_m^2} - \alpha \cdot E(t_n^\circ - t_m^\circ) \quad (4)$$

У режимі без вітру ($R = \cos\theta$), рівняння (4) прийме вигляд:

$$\frac{\sigma_n}{\cos\theta} - \frac{\gamma_n^2 \cdot l_x^2 \cdot \cos^2\theta \cdot E}{24 \cdot \sigma_n^2} = \frac{\sigma_m}{\cos\theta} - \frac{\gamma_m^2 \cdot l_x^2 \cdot \cos^2\theta \cdot E}{24 \cdot \sigma_m^2} - \alpha \cdot E(t_n^\circ - t_m^\circ) \quad (5)$$

а, для рівнинних умов ($R_n = R_m = 1$) до вигляду:

$$\sigma_n - \frac{\gamma_n^2 \cdot l_x^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_n^2} = \sigma_m - \frac{\gamma_m^2 \cdot l_x^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_m^2} - \alpha \cdot E(t_n^\circ - t_m^\circ) \quad (6)$$

Похибка рівняння (6) мізерно мала і досягає 1 % і більше лише в прольотах більше 1000 м в поєднанні з ухилами більше 30°, які в практиці не зустрічаються. Рівняння ж (6) при 1 %-й похибці придатне для використання при ухилах до 8–10° [4].

Найбільш важкими умовами для ПЛЕП є поєднання вітрового навантаження і обмерзання проводів і тросів. Дія цих умов значною мірою створюють напруження в проводі, що перевищують допустимі напруження для проводів і тросів, та призводить до численних обривів проводів і тросів ПЛЕП у період ожеледі.

У роботі [5] на підставі обстеження ПЛ був отриманий висновок, що напруження в проводах і тросах при підвищених утвореннях ожеледі менше тимчасових опорів і не повинні були викликати обриву проводів і тросів, що зазначено в актах аварій. Було виявлено, що в багатьох випадках обриви викликані не дефектами проводів або їх перепал [5].

Методика розрахунку напружень в проводах при навантаженні від ожеледі за рівнянням стану проводу (1), (4), (5) не завжди правильно відображає дійсне значення напруження в проводах і тросах, а, отже, і значення діючих навантажень на опори ПЛ у цих умовах [5].

Значення дійсних навантажень на проводи і опори ПЛ можна отримати, розглядаючи роботу проводів з урахуванням міцності оболонки ожеледі. Це

також необхідно для того, щоб мати можливість розробити практичні заходи щодо усунення шкідливого впливу ожеледі і для забезпечення нормальної роботи лінійних споруд [5].

Аналіз експериментальних досліджень дозволив отримати діапазон вірогідних значень динамічного модулю пружності (модулю Юнга) в границях 8,0–9,8·10³ МПа. Значення E_d [7–9] приведені в табл. 1.

Таким чином, для дослідження впливу значення E_d на механічні властивості системи «провід–лід» слід охопити діапазон змінення модуля пружності в межах (3–10)·10³ МПа.

Таблиця 1 – Значення динамічного модулю пружності залежно від щільності льоду

Щільність, кг/м ³	E_d , Н/м ²
910–914	90000·10 ⁵
900	75000·10 ⁵
700–800	40000·10 ⁵

Узагальнені дані по опублікованих роботах [7–9] з міцності льоду на розтягнення при короткочасному прикладенні навантаження до зразків однакового розміру наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Узагальнені дані міцності льоду на розтягнення при короткочасному прикладенні навантаження

°С	0 – (-10)	(-10) – (-20)	(-20) – (-35)
σ_p , МПа	0,9–1,2	1,2–1,4	1,4–1,8

На рис. 2 показано спрощений вигляд прольоту ПЛЕП з проводом в оболонці ожеледі.

Так, в точці a , рис. 2, на систему «провід–лід» діє сила тяжіння T_a , яка направлена по дотичній до проводу. При утворенні ожеледі на проводі виникає додаткове тяжіння T_o у системі "провід–лід", обумовлене додатковим навантаженням проводу оболонкою ожеледі. Тому в умовах утворення ожеледі на проводі силу тяжіння T_a необхідно розкласти на такі складові:

$$T_a = T_{np} + T_o, \quad (7)$$

де T_{np} – сила тяжіння, що надається проводом, кгс; T_o – додаткова сила тяжіння, що виникає при утворенні оболонки ожеледі, кгс.

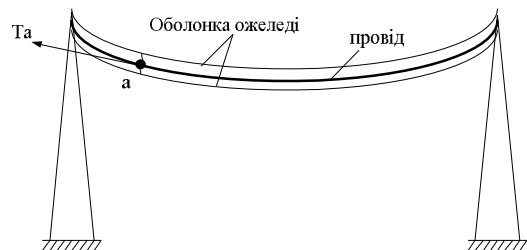


Рисунок 2 – Спрощений вид прольоту ПЛЕП з проводом в оболонці ожеледі

При утворенні ожеледі на проводі виникає додаткове тяжіння T_δ у системі "провід-лід», обумовлене додатковим навантаженням проводу оболонкою ожеледі. Тому в умовах утворення ожеледі на проводі силу тяжіння T_a необхідно розкласти на такі складові:

$$T_a = T_{np} + T_\delta, \quad (7)$$

де T_{np} – сила тяжіння, що надається проводом, кгс; T_δ – додаткова сила тяжіння, що виникає при утворенні оболонки ожеледі, кгс.

Додаткове тяжіння T_δ по системі "провід-лід» буде складатися з наступних складових:

$$T_\delta = T_l + T_{np,\delta} = (y_l \cdot q_l + y_{np,\delta} \cdot q_{np}), \quad (8)$$

де T_l – тяжіння оболонки ожеледі, кгс; $T_{np,\delta}$ – додаткове тяжіння в проводі при ожеледі, кгс; y_l – напруження в оболонці ожеледі, кгс/мм²; q_l – перетин оболонки ожеледі, мм²; q_{np} – перетин проводу, мм²; $y_{np,\delta}$ – додаткове напруження в проводі при ожеледі, кгс/мм².

Під дією цього тяжіння провід і оболонка ожеледі мають однакове подовження, у зв'язку з чим за [10]

$$\frac{\sigma_l}{E_l} = \frac{\sigma_{np,\delta}}{E} \quad (9)$$

Звідки

$$\sigma_l = \frac{\sigma_{np,\delta}}{E} E_l \quad (10)$$

де E_l – модуль пружності (модуль Юнга) льоду, кгс/мм².

Підставляючи значення y_l в рівняння (8), отримуємо:

$$T_\delta = \sigma_{np,\delta} \cdot \frac{E_l}{E} \cdot q_l + \sigma_{np,\delta} \cdot q_{np} = \sigma_{np,\delta} \cdot q_{np} \cdot \left(1 + \frac{E_l}{E} \cdot \frac{q_l}{q_{np}}\right) \quad (11)$$

Введемо позначення

$$\left(1 + \frac{E_l}{E} \cdot \frac{q_l}{q_{np}}\right) = K_l \quad (12)$$

Коефіцієнт K_l характеризує співвідношення механічних властивостей (E) і геометричних параметрів (q) проводу і оболонки ожеледі на проводі. З рівняння (11) і (12) отримуємо:

$$T_\delta = \sigma_{np,\delta} \cdot q_{np} \cdot K_l = K_l \cdot T_{np,\delta}, \quad T_{np,\delta} = \frac{T_\delta}{K_l} \quad (13)$$

З рівняння (8) і (13) отримуємо:

$$T_a = T_\delta \cdot \left(1 - \frac{1}{K_l}\right) \quad (14)$$

Відношення тяжіння в оболонці ожеледі до додаткового тяжіння в проводі визначається співвідношенням

$$\frac{T_a}{T_{np,\delta}} = K_l - 1 \quad (15)$$

Як видно з рівняння (12), тяжіння в проводі залежить не тільки від модуля пружності муфти ожеледі, але і від її розмірів (відношення її перетину до перетину проводу).

Слід зазначити, що чим менше щільність відкладень ожеледі, тобто зменшується також і величина E_l , тим більше стає перетин цієї муфти при нормативному або розрахунковому погонному навантаженні, що може навіть призвести до збільшення значення K_l і також до збільшення повного тяжіння. Таким чином, міцність оболонки ожеледі необхідно враховувати практично при всіх видах відкладень ожеледі [5].

Зі зростанням товщини стінки ожеледі (перетину оболонки ожеледі) збільшується частина загального додаткового тяжіння, що припадає на оболонку ожеледі. Ця величина зростає також зі збільшенням значення модуля пружності льоду [5]. При швидкому наростанні ожеледі тяжіння по оболонці ожеледі може досягти значної величини, що перевищує міцність цієї оболонки. У цьому випадку під впливом сили, що розтягує, крижана оболонка розривається. Відзначається, що розрив крижаних зразків [11] відбувається також раптово, як і крихких матеріалів.

При розриві оболонки ожеледі, який відбувається дуже різко (миттєво), виникає динамічний вплив на провід (трос) і має місце різкого зростання тяжіння по проводу в місці розриву оболонки ожеледі.

Для оцінки динамічного впливу при розриві оболонки ожеледі її можна представити як напруження, яке сконцентроване в оболонці ожеледі, помножене на динамічний коефіцієнт [12].

При раптовій появі тріщини в льоді провід буде відчувати раптове додаток тяжіння льоду T_l , тобто в (1) додається навантаження, рівне $F_{дин}$, і тоді рівняння (1) буде мати вигляд:

$$\sigma_n - \frac{\gamma_n^2 \cdot l^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_n^2} = \sigma_m - \frac{\gamma_m^2 \cdot l^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_m^2} - \frac{K_l - 1}{q_{np}} \cdot K_{дин} \cdot \sigma_{пред,l} \cdot q_l - \alpha \cdot E(t_n^0 - t_m^0) \quad (16)$$

де $y_{пред,l}$ – межа міцності льоду, кгс/мм²; $K_{дин}$ – коефіцієнт динамічного впливу.

Величина динамічних деформацій, напружень і зусиль залежить від величини статичної деформації, тобто від жорсткості і поздовжніх розмірів наголошеного тіла [12]:

$$K_{дин} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2H}{\delta_c}} \quad (14)$$

де H – висота початкового положення; δ_c – статична деформація.

У разі раптового додатку навантаження, коли $H=0$ отримуємо $K_{дин} = 2$.

Таким чином рівняння (4), (5) з урахуванням вищевикладеного приймуть вигляд:

$$\frac{\sigma_n}{R_n} - \frac{\gamma_n^2 \cdot l^2 \cdot R_n^4 \cdot E}{24 \cdot \sigma_n^2} = \frac{\sigma_m}{R_m} - \frac{\gamma_m^2 \cdot l^2 \cdot R_m^4 \cdot E}{24 \cdot \sigma_m^2} - \alpha \cdot E(t_n^o - t_m^o) - \frac{(K_n - 1) \cdot K_{дин} \cdot \sigma_{пред.л} \cdot q_l}{q_{пр}} \quad (15)$$

У режимі без вітру ($R = \cos\theta$), рівняння (4) прийме вигляд:

$$\frac{\sigma_n}{\cos\theta} - \frac{\gamma_n^2 \cdot l_x^2 \cdot \cos^2\theta \cdot E}{24 \cdot \sigma_n^2} = \frac{\sigma_m}{\cos\theta} - \frac{\gamma_m^2 \cdot l_x^2 \cdot \cos^2\theta \cdot E}{24 \cdot \sigma_m^2} - \alpha \cdot E(t_n^o - t_m^o) - \frac{(K_n - 1) \cdot K_{дин} \cdot \sigma_{пред.л} \cdot q_l}{q_{пр}} \quad (16)$$

а для рівнинних умов ($R_n = R_m = 1$) до вигляду:

$$\sigma_n - \frac{\gamma_n^2 \cdot l_x^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_n^2} = \sigma_m - \frac{\gamma_m^2 \cdot l_x^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_m^2} - \alpha \cdot E(t_n^o - t_m^o) - \frac{(K_n - 1) \cdot K_{дин} \cdot \sigma_{пред.л} \cdot q_l}{q_{пр}} \quad (17)$$

При швидкому наростанні ожеледі без урахування пластичних властивостей льоду розподіл напружень по шарах льодової оболонки змінюється таким чином, що напруження в льодовому шарі тим більше, чим ближче зазначений шар розташований до проводу. При такому завантаженні оболонки ожеледі слід очікувати значного збільшення тимчасового опору льоду [5].

ВИСНОВКИ. Дійсна методика розрахунку проводів та тросів ПЛ не враховує фізико-механічних властивостей відкладень ожеледі і тим самим не враховує частини навантаження на проводи і троси ПЛ.

У цій роботі розглянуто питання врахування додаткового навантаження на проводи і троси ПЛ, яке утворюється за рахунок динамічного впливу напруження в оболонці ожеледі, яке передається на провід при розриві ожеледі.

Також отримала подальший розвиток модель механічного стану проводів і тросів ПЛ з урахуванням динамічного впливу напруження в оболонці ожеледі, яке передається на провід при розриві ожеледі.

Також було використано метод граничних напружень для опису поведінки оболонки ожеледі на проводах і тросах ПЛ при раптовому розриві ожеледі.

Отримані результати дозволять більш детально враховувати навантаження, які діють на проводи і

троси ПЛ і, тим самим, підвищить експлуатаційну надійність ПЛ, які будуються та вже побудованих.

Отримані результати вимагають подальшого дослідження питання впливу фізико-механічних властивостей ожеледі на його механічну міцність і розробку заходів захисту проводів і тросів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Анализ причин и последствий аварий на участках ВЛ 330 кВ Джанкойских МЭС крымской электроэнергетической системы НЭК «Укрэнерго» / Е.В. Горохов, С.Н. Бакаев, Я.В. Назим и др. // Металеві конструкції. – Макеевка, 2010. – Том 16, № 2. – С. 75–92.
2. Гололедные и ветровые воздействия на воздушные линии электропередачи / Е.В. Горохов, М.И. Казакевич, С.В. Турбин, Я.В. Назим; под. ред. Горохова Е.В. – Донецк, 2005. – 348 с.
3. Повышение надежности и эффективности высоковольтных вводов/ Л.Б. Жорняк, Е.Ю. Райкова, В.И. Осинская // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. – Вип. 4/2008 (51), част. 1. – С. 95–99.
4. Кесельман Л.М. Основы механики воздушных линий электропередачи. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 352 с.
5. Крымский М.М. Об учете механической прочности гололедных отложений при расчете проводов ВЛ. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – № 3. – С. 73–78.
6. Глазунов А.А. Основы механической части воздушных линий электропередачи. Том I: Работа и расчет проводов и тросов. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 563 с.
7. Богородский В.В. Упругие характеристики льда // Акустический журнал. – 1958. – Т. 4, вып. 1. – 313 с.
8. Jellinek H.H G. Tensile strength properties of ice adhering to stainless steel, SIPRE Research Report 23, 1957.
9. Legget R.F. The Bearing Strength of Ice // Trans. Eng. Inst. Canada, 2, 97 (1958).
10. Бургсдорф В.В. Сооружение и эксплуатация линий электропередачи в сильногололедных районах. – М.: Госэнергоиздат, 1947. – 124 с.
11. Лавров В.В. Деформация и прочность льда. – М.: Гидрометеиздат, 1969. – 206 с.
12. Киселев В.А. Строительная механика Специальный курс (динамика и устойчивость сооружений): учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1980. – 616 с.

**CALCULATION OF WIRES AND CABLES OVERHEAD POWER LINES IN VIEW
OF MECHANICAL STRENGTH GLAZE DEPOSITS**

M. Krymskyi

SDI and SRI "Ukrenergomerejproekt"

Krasnoshkol'naja naberezhnaya, 2, Kharkiv, 6100, Ukraine.

A. Metherja, E. Zanyhaylo

Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy

vul. Universitetskaya, 16, Kharkiv, 61003, Ukraine. E-mail: OneginEA@mail.ru

Statistics of accidents shows that more than half of the failures of elements overhead caused by the action over estimated glaze-wind loads on the wires, cables and constructions. The current method of calculating the wire comes from the fact that the ice shell does not take any effort and all the traction falls on the wire and thus not accurately determine the stresses arising. Values of real loads on overhead wires and support can be obtained by considering the work of conductors allowing glaze shell strength. When you break the glaze shell, there is a dynamic effect on the wire (cable) and there is a sharp increase in tension on the wire at the break glaze shell. To assess the dynamic effects at break glaze shell it can be represented as a voltage, which is concentrated in glaze shell multiplied by the dynamic factor. Thus, the dependencies allow more accurately determine the actual value of the voltage in the wires and cables overhead in the formation of rime icing and deposits.

Key words: wire, overhead lines, ice, mechanical calculation.

REFERENCES

1. Gorohov, E.V., Bakay, S.N., Nazim, Y.V., Morgay, V.V., Popov, M.S. (2010), "Analysis of the causes and consequences of accidents at sites 330 kV Jankovsky Crimean MES power system NEC "Ukrenergo """, *Metalevi konstrukcii*, vol. 16, no. 2, pp. 75–92.
2. Gorokhov, E.V., Kazakevich, M.I., Turbin, S.V., Nazim, Y.V. (2005), *Gololednye i vetrovye vozdeistviya na vozdushnye linii elektroperedach* [Glaze and wind effects on the overhead power lines], Donetsk, Ukraine.
3. Joraniak L.B., Raykova E.J., Osinskaia V.I. (2008), "Improving the reliability and efficiency of high-voltage bushings", *Transactions of Kremenichuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 4, (51), part 1, pp. 95–99.
4. Kesselman, L.M. (1992), *Osnovy mekhaniki vozdushnykh linii elektroperedach* [Fundamentals of mechanics of overhead power lines], Energoatomizdat, Moscow, Russia.
5. Krymskyi, M.M., (1989), "On account of the mechanical strength of glaze deposits when calculating overhead wire ", *Electric stations, Energoatomizdat*, no. 3, pp.73–78.
6. Glazunov, A.A. (1956), *Osnovy mekhanicheskoi chasti vozdushnykh linii elektroperedach*. Vol I. *Rabota i raschet provodov i trosov* [Fundamentals of mechanical overhead power lines. Vol. I. Employment and payment of wires and cables], Gosenergoizdat, Moscow, Russia.
7. Bogorodskiy, V.V. (1958), "Elastic characteristics of ice", *Acoustical Physics*, vol. 4, no. 1, pp. 313–317.
8. Jellinek, H.H.G., (1957), "Tensile strength properties of ice adhering to stainless steel", *SIPRE Research Report*, pp. 29–34.
9. Legget, R.F., (1958), "The Bearing Strength of Ice", *Trans. Eng. Inst. Canada*, vol. 2, pp. 97–103.
10. Burgsdorf, V.V., (1947), *Sooruzhenie i ekspluatatsiya linii elektroperedach v silnogololednykh rayonakh* [Construction and operation of transmission lines in areas heavily glaze], Gosenergoizdat, Moscow, Russia.
11. Lavrov, V.V., (1969), *Deformatsiya i prochnost lda* [Deformation and strength of ice], Gidrometeoizdat, Moscow, Russia.
12. Kiselev, V.A., (1980), *Stroitel'naya mekhanika. Dinamika i ustoichivost sooruzhenii* [Structural Mechanics. Special course: Dynamics and stability of structures], Stroyizdat, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 24.04.2014.