

Elena Golik, Roman Zhesan

Kirovograd National Technical University

Criterion of sequence of including of the power settings at an autonomous power supply

The purpose of work is development of criterion of sequence of including of the power settings, which takes into account the operating terms of the system of power supply of autonomous users.

The criterion of sequence of including of the power settings is offered in the systems of power supply with the autonomous sources of energy. The criterion of optimum must be a minimum cost of constituents of the system at the assured power supply. That, it is necessary to provide such algorithm of work of the system, that power consumer need were maximally satisfied due to the use of refurbishable energy sources and by the minimum use of reserve power-station, taking into account external of the system of power supply environments.

The criterion of priorities of sequence of including of the power settings in the systems of power supply enables effectively to use energy of refurbishable energy sources in accordance with the power necessities of autonomous user.

renewable energy source, power supply source, power plant, goal function, coefficient of weight of index

Одержано 29.04.14

УДК 621.315.175:536.246

О. А. Козловський, асист., А. Ю. Орлович, проф., канд. техн. наук,

В. В. Клименко, проф., д-р техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Експериментальні дослідження нестационарних теплових режимів неізолюваних проводів повітряних ліній перед процесом обледеніння

Для визначення діапазонів уставок системи технічної діагностики проводів при обледенінні проведені лабораторні дослідження.

Описані умови і методи експериментальних досліджень, лабораторне обладнання та конструкція досліджуваних зразків проводу. Діапазон потужності охолодження зразка неізолюваного проводу АС-50/8, необхідної для утворення на ньому штучних ожеледно-паморозевих відкладень, при найбільш ймовірних метеорологічних умовах для його природнього обледеніння склав 0,25-0,17 Вт/см.

Отримані експериментальні дані дозволять підвищити точність роботи систем технічної діагностики проводів в умовах обледеніння.

обледеніння проводів, нестационарний тепловий режим, технічна діагностика проводів

А.А. Козловский, асист., А. Ю. Орлович, проф., канд. техн. наук, В. В. Клименко, проф., д-р техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

Экспериментальные исследования нестационарных тепловых режимов неизолированных проводов воздушных линий перед процессом обледенения

Для определения диапазонов уставок системы технической диагностики проводов при обледенении проведены лабораторные исследования.

Описанные условия и методы экспериментальных исследований, лабораторное оборудование и конструкция исследуемых образцов провода. Диапазон мощности охлаждения неизолированного образца провода АС -50 /8, необходимый для образования на нем искусственных гололедно-изморозевых

© О. А. Козловський, А. Ю. Орлович, В. В. Клименко, 2014

отложенный, при наиболее вероятных метеорологических условиях для его естественного обледенения, составил 0,25-0,17 Вт/см.

Полученные экспериментальные данные позволят повысить точность работы систем технической диагностики проводов в условиях обледенения.

обледенение проводов, нестационарный тепловой режим, техническая диагностика проводов

Вступ. На території України за останнє десятиліття зафіксована найбільша кількість кліматичних рекордів за всю історію регулярних метеорологічних спостережень. Це свідчить про те, що відбулись невідворотні зміни клімату. Які виражаються в підвищенні приземної температури у зимовий період року, зміні режимів зволоження і вітру, перерозподілу сум та типів опадів по регіонах. Зроблений фахівцями Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту прогноз сезонних значень температур повітря та сум опадів до 2100 року, із застосуванням моделей загальної циркуляції атмосфери та океану, на основі вітчизняних баз даних метеоспостережень з 1855 року – невтішний, подібні тенденції збережуться і в майбутньому.

Тому необхідна термінова адаптація до зміни клімату всіх галузей економіки: охорони здоров'я, сільського господарства і базової – енергетики. Адаптація до зміни клімату енергетичної галузі передбачає підвищення енергоефективності, для компенсації зміни в режимах споживання енергії, та захист енергетичних об'єктів від екстремальних погодних явищ [1].

Статистичні дані показують, що найбільш незахищеними від кліматичних впливів є наземні лінії електропередачі напругою 0,4-10 кВ, що споруджувались по занижених кліматичних нормах і практично вичерпали свій технічний ресурс [2]. Збільшити термін експлуатації повітряних ліній розподільчих мереж, без значних капітальних вкладень, можливо за рахунок застосування автоматизованих систем плавки ожеледі.

Постановка проблеми. Підвищити ефективність автоматизованих систем плавки ожеледі можливо шляхом включення до їх складу системи технічної діагностики проводів (СДТП) під час обледеніння. Головний недолік існуючих СДТП – використання, як недосконалих первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП), так і алгоритмів прогнозування часу можливої появи ожеледі на проводі. Наслідком цих недоліків є неточні прогнози, а отже і прийняття хибних рішень, щодо завчасного проведення заходу захисту ПЛЕ від обледеніння.

Підвищити точність роботи СДТП можливо шляхом використання більш досконалих ПВП та урахування теплових параметрів проводу ПЛЕ, що діагностується. Тому, проведення експериментальних досліджень теплових режимів неізолюваних проводів повітряних ліній перед процесом обледеніння є актуальним.

Аналіз публікацій. Публікацій з результатами експериментальних досліджень теплових режимів неізолюваних проводів перед процесом обледеніння мало, але є значна кількість даних по аналогічних експериментах при інших метеорологічних умовах. Так у роботах [3, 4] описані експериментальні установки, методики і результати тривалих досліджень максимальної температури проводів повітряних ліній зі струмом у польових умовах. Досліди проводилися у суху погоду, при позитивних температурах повітря та при різних швидкостях вітру з проводам значних перетинів АС-150/24, АС-240/39, АС-400/51 [3], $I_p=600$ А [4], що використовуються на магістральних лініях.

У [5] описана структура експериментальної установки та запропоновано методику експериментального визначення термодинамічних параметрів поверхні проводу зі струмом навантаження реальної лінії електропередачі напругою 10 кВ у

момент початку утворення і процесу наростання ожеледно-паморозевих відкладень у природних умовах. При цьому, ожеледонесучий потік створювався штучно за допомогою форсунки.

Відсутність експериментальних даних для проводів розподільчих мереж при їх штучному охолодженні та нагріві перед обледенінням потребує додаткових досліджень.

Метою експериментальних досліджень було визначення питомої потужності охолодження неізолюваного проводу повітряної лінії електропередачі достатньої для утворення на ньому штучних ОПВ, при найбільш ймовірних метеорологічних умовах для його природнього обледеніння.

Основна частина. Для досягнення поставленої мети сформульовані завдання експериментів:

- визначити питомі витрати холодо/теплоносія у контурах експериментальної установки при різних температурах та режимах роботи насосів;
- визначити діапазон питомої потужності охолодження неізолюваного проводу, при якій починається його обледеніння у різних метеорологічних умовах.

З метою розв'язання поставлених завдань досліджень, а також з урахуванням вимог автоматизації вимірювань, розроблено експериментальну установку (рис. 1). Основою якої є морозильна камера Ungermann BHS 1880 (рис. 1, 1), що була розділена на два відділення – для ємностей та аеробокса 2. Завдяки використанню удосконаленої системи керування у ній підтримувалась задана температура у інтервалі $[-25...+3]$ °С.



1 – морозильна камера; 2 – аеробокс; 3 – універсальний вимірювач-регулятор; 4 – блок проміжних реле; 5 – лабораторний блок живлення; 6 – прецизійний мультиметр; 7 – ємність з холодоносієм; 8 – ємність з теплоносієм; 9 – ємність для відпрацьованих холодо/теплоносіїв; 10 – ємність з дистильованою водою; 11 – відцентрові електронасоси; 12 – осьові вентилятори; 13 – фотобокс; 14 – персональний комп'ютер та додатковий монітор

Рисунок 1 – Експериментальна установка

Для зручності розміщення зразків проводу та первинних вимірювальних перетворювачів температури і вимірювального перетворювача відносної вологості повітря був розроблений аеробокс 2 (рис. 1). З метою зменшення турбулентності в області зразків проводу було проведено його комп'ютерне моделювання у середовищі SolidWorks FlowSimulation. У результаті, були визначені оптимальні відстані між зразками та стінками аеробокса які склали 6,52 та 3,26 діаметру проводу АС-50/8, відповідно. Потік плинну створювався осьовими вентиляторами встановленими у нижній частині аеробокса, на відстані двох діаметрів проточної частини вентилятора від зразків проводу (рис. 1, 12)

У експериментальній установці як холодоносієм використовувався 50% (за масою) розчин пропіленгліколя ($C_3H_8(OH)_2$) у дистильованій воді, з температурою замерзання $-40^{\circ}C$. Утворення штучних ожеледних відкладень на досліджуваних зразках проводів досягалось розбризкуванням форсункою охолодженої дистильованої води з ємності 10 (рис. 1).

Подача холодоносія та дистильованої води використовуються малогабаритні відцентрові насоси 6 (рис. 1).

Для даних експериментальних досліджень були підготовлені модифікований та незмінний зразки проводу за наступною технологією. У модифікованому зразку дротини зовнішнього шару були герметично склеєні між собою, а центральна жила – видалена (рис. 2). Для зручності підключення зразка до магістралі з холодоносієм, були встановлені з обох боків алюмінієві фітинги. Таке технічне рішення дозволило отримати безпосереднє та одночасне охолодження всього зразка, при прокачуванні через нього холодоносія. Довжина вимірювальної частини зразків проводу вибрана рівною довжині його кроку скручування проводу.

Фіксація початку утворення ОПВ на модифіковану зразку проводу здійснювалася шляхом контролю електричного опору між багатодротовим та однодротовим електродами. Для цього одна із дротин проводу була ізольована від інших за допомогою тefлонової ізоляції [6].

Для візуального спостереження моменту утворення ОПВ використовувався другий зразок проводу, що мав однакову довжину з першим, без будь-яких конструктивних змін.

Загальний вид підготовлених зразків проводу АС-50/8 представлений на рис.2.

Для живлення насосів та вентиляторів використано триканальне регульоване джерело постійного струму і напруги ATTEN APS3005S-3D з низьким рівнем пульсацій та шумів (≤ 1 мВ (rms)).

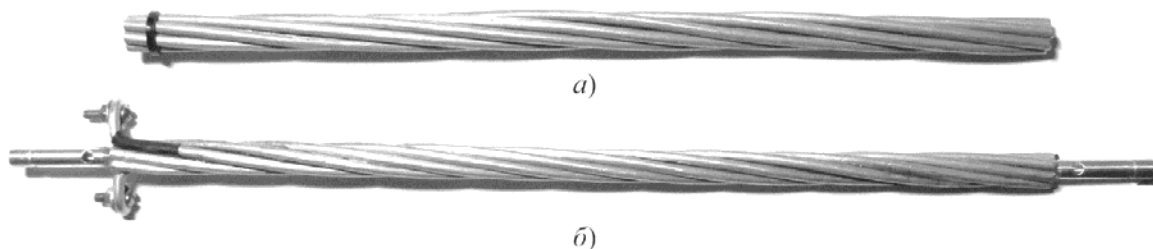
Для контролю температур: холодоносія на вході/виході зі зразка проводу; поверхні зразків проводу; дистильованої води, на вході у форсунку; використані прецизійні платинові термометри опору M222 з номінальною статичною характеристикою Pt100, класом допуску F 0,15 у діапазоні температур $-50 \div 0^{\circ}C$, та F 0,1 у діапазоні $0 \div 150^{\circ}C$ (згідно DIN EN 60751 2009-05). Температура повітря у аеробоксі вимірювалася платиновим термометром опору ТЭРА ТСП 1-6-Pt100 з класом допуску В у діапазоні температур $-50 \div 230^{\circ}C$.

У експериментальній установці контроль відносної вологості повітря здійснювався перетворювачем НІН-4000-004 з робочим діапазоном $0 \div 100\%$, клас точності при визначенні вологості за кривою 2 – 2,5. Діапазон робочих температур – $40 \div 85^{\circ}C$.

У зв'язку з необхідністю реєстрації зміни у часі значної кількості параметрів стану зразків проводу ПЛЕ та середовища навколо них, а також визначення у режимі реального часу потужності та енергії охолодження/нагріву була розроблена

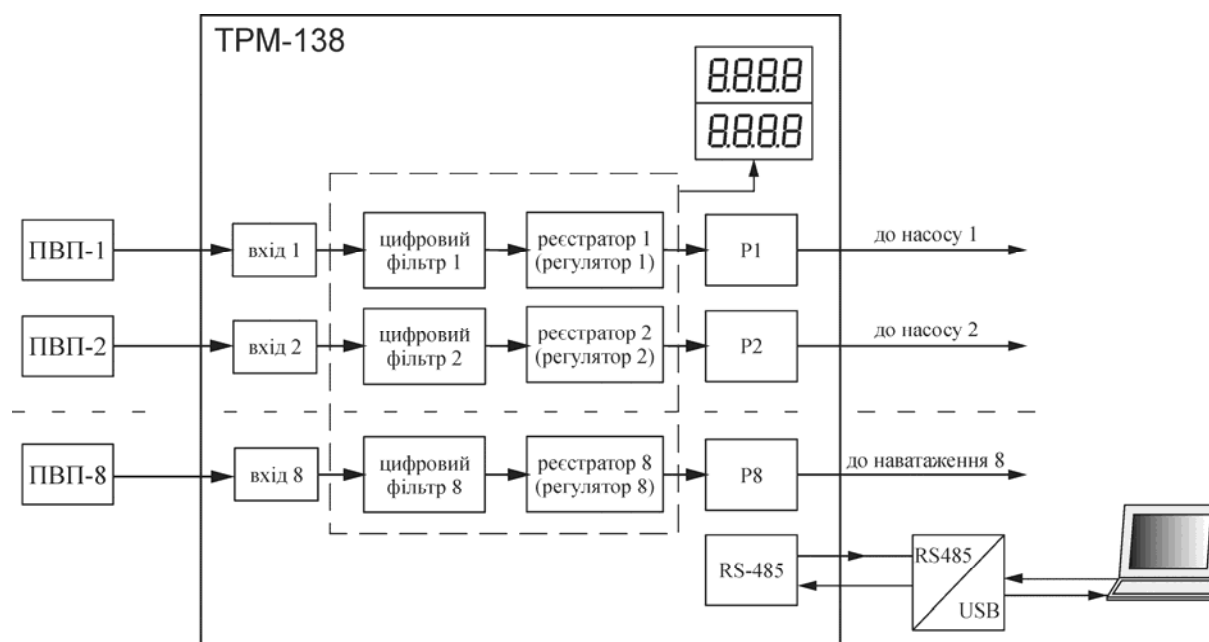
автоматизована система збору експериментальних даних (рис. 3). Ядром якої є універсальний вимірювач-регулятор (УВР) ТРМ-138 (рис. 1, 3).

Візуальний контроль виміряних та розрахованих параметрів, їх аналіз та архівування проводилося за допомогою проекту розробленого у SCADA-системі – Master SCADA RT32 для персонального комп'ютера.



а) без конструктивних змін;
б) модифікований

Рисунок 2 – Експериментальні зразки проводу АС-50/8



ПВП – первинний вимірювальний перетворювач;
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
RS-485/USB – перетворювач інтерфейсу RS-485 в USB 2.0

Рисунок 3 – Апаратна частина вимірювальної системи експериментальної установки

Апаратний зв'язок УВР з ПК здійснюється за допомогою перетворювача інтерфейсу «MR-USB-RS485I», а програмний – за допомогою OPC драйвера для приладів OVEN з інтерфейсом RS-485.

Вимірювання маси відрізків проводів, масової витрати холодної води при калібруванні насосів проводилося за допомогою прецизійних лабораторних ваг KERN 440-45N з абсолютною похибкою $\pm 0,01$ г.

Аналоговий мегомметр Е6-16 з класом точності 1,5 (2.722.011 ТУ) використовувався для вимірювання опору ОПВ. Для виключення поляризації електроди зразку проводу підключалися до мегомметра через контакти реверсивного реле, керованого симетричним мультівібратором.

Найбільш ймовірними метрологічними умовами, що передують ужелодоутворенню, є знаходження температури повітря t_a у інтервалі $[-6; +1]^{\circ}\text{C}$ при відносній вологості $\varphi_a \geq 80\%$ та швидкості вітру $v_a < 10 \text{ м/с}$ [7]. У залежності від метеорологічної ситуації можливе утворення внутрішньомасової або фронтальної ожеледі.

Моделювання внутрішньомасового обледеніння проводиться на протязі 3 год. За цей час у відділенні морозильної камери з аеробоксом температура повітря підвищується від -8°C до -3°C з темпом 2°C/год , а його відносна вологість – від 80% до 100% з темпом близько 7%/год.

Моделювання фронтального обледеніння проводиться на протязі 3 год. За цей час у відділенні морозильної камери з аеробоксом температура повітря знижується від $+2$ до -4°C з темпом 2°C/год при відносній вологості 95%...100%. Поверхня зразків проводу постійно зволожується, за рахунок роботи у імпульсному режимі насоса води та системи крапельниць. Дистильована вода подається з початковою температурою $+2^{\circ}\text{C}$ і знижується в кінці експерименту до 0°C .

Для обох видів обледеніння дослід проводиться два рази при швидкості повітря на вході у аеробокс 0 м/с та 4 м/с .

Перед початком експерименту при температурі повітря $t_a \geq -4^{\circ}\text{C}$ у аеробоксі були зняті характеристики вентиляторів $v_a = f(U_{\text{ж}})$ та насосів $G = f(U_{\text{ж}})$,

де $U_{\text{ж}}$ – напруга живлення, В; G – масова витрата холодоносія, кг/с.

За отриманими характеристиками визначені дані необхідні для налаштування автоматизованої системи збору та протоколювання експериментальних даних.

З сімейства характеристик $G = f(U_{\text{ж}})$ для діапазону температур $[-18,2; -13,5]^{\circ}\text{C}$ та $[27; 32,3]^{\circ}\text{C}$, відповідно, холодного та гарячого теплоносіїв були отримані рівняння регресії по яких визначалася у режимі реального часу витрата пропіленгліколя у залежності від його середньої температури у модифікованому зразку, кг/с:

$$G_c = 11,163 + 1,1245t_{\text{cp}} + 0,0286t_{\text{cp}}^2, \text{ при } U_{\text{ж}} = 10 \text{ В};$$

$$G_h = -74,753 + 4,999t_{\text{cp}} - 0,0728t_{\text{cp}}^2, \text{ при } U_{\text{ж}} = 6 \text{ В},$$

де t_{cp} – середня температура пропіленгліколя, $^{\circ}\text{C}$.

Потужність охолодження/нагріву (Вт) визначалася щосекундно за виразом

$$P_{fr(h)} = G_{fr(h)} c_p (T_1 - T_2), \quad (1)$$

де c_p – теплоємність пропіленгліколя [8], кДж/(кг·К)

$$c_p = 4,47642 + 0,60863\xi - 0,71497 \frac{273,15}{T_{\text{cp}}} - 1,93855\xi \frac{273,15}{T_{\text{cp}}} + 0,47873 \left(\frac{273,15}{T_{\text{cp}}} \right)^2,$$

ξ – масова концентрація пропіленгліколя, в.о.;

T_1, T_2 – температури пропіленгліколя, відповідно, на вході та виході у модифікованому зразку, К.

Енергія, що витрачалась на охолодження/нагрів модифікованого зразка

$$Q_{c(h)} = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta\tau_i P_{c(h)i} ,$$

де $\Delta\tau$ – інтервал часу між вимірюваннями;
з урахування того, що потужність розраховувалась щосекундно, отримаємо

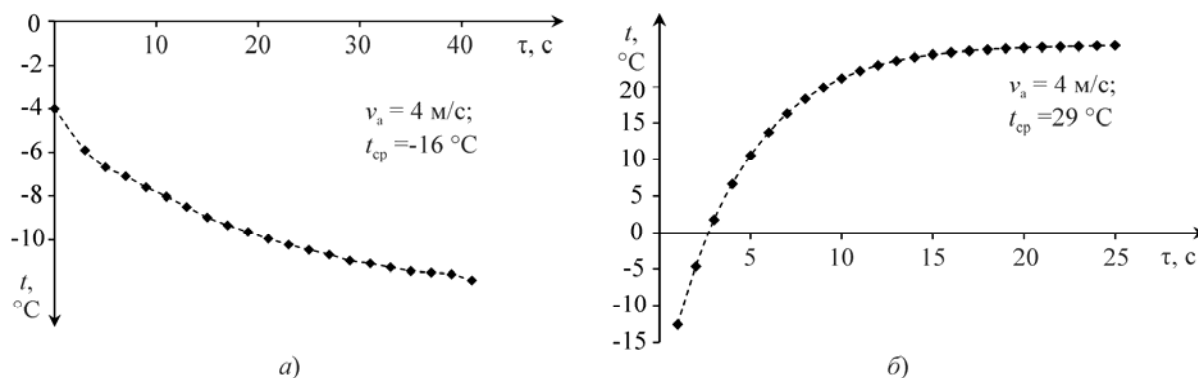
$$Q_{c(h)} = \sum_{i=1}^{i=n} P_{c(h)i} \cdot$$

Послідовність проведення експерименту наступна. Після виводу експериментальної установки на робочий режим, запускається на ПК розроблений SCADA-проект, що відпрацьовує режим «Пауза», так як реле P1 та P2 УВР вимкненні (рис. 4) і починає формувати базу даних. На ТРМ-138 вручну вмикається насос холодоносія через реле P1, SCADA-проект фіксує логічну одиницю виходу цього реле і вмикає відлік часу охолодження та розраховує потужність охолодження за (1) модифікованого зразка проводу, тобто відпрацьовує режим «Охолодження». При появі на ньому штучних ОПВ, насос холодоносія вручну вимикається і вмикається насос теплоносія через реле P2 в УВР. Так як на виході реле P1 зникне логічна одиниця, а на виході P2 з'явиться, то SCADA-проект зупинить відлік часу охолодження і запустить відлік часу нагріву та розрахунок потужності нагріву (1), тобто відпрацьовуватиме режим «Нагрів». Після усунення штучних ОПВ, насос теплоносія вимикається, а отже SCADA-проект переходить у режим «Пауза».

Цикли «нагрів-охолодження-пауза» повторюються на протязі 3 год до утворення ожеледно-паморозевих відкладень на незміненому зразку проводу. Контроль появи яких проводиться візуально по зображенню на моніторі першого ПК, що отримується з вебкамери фотобокса (рис.1, 13).

По завершенню експерименту, у середовищі Master SCADA RT32 генератором звітів формується лабораторний журнал.

На рис. 4 приведені отримані залежності часу охолодження (а) та нагріву (б) підготовленого зразку проводу при моделюванні внутрішньомасового обledenіння. Завдяки використанню холодоносія низької температури вдалося отримати короткий час охолодження зразка, а режим охолодження – близький до регулярного. Горизонтальна ділянка кривих вказує на початок фазового переходу.



а) режим «Охолодження»;
б) режим «Нагрів»

Рисунок 4 – Теплові режими підготовленого зразка проводу при $t_a = -4^\circ\text{C}$; $\phi_a = 85\%$

На протязі всіх експериментів підтримувалася постійна потужність охолодження зразка проводу шляхом використання значного об'єму холодоносія з постійною температурою, це дало змогу визначити по повних циклах (рис. 5) час охолодження зразка (рис. 6) при зміні параметрів середовища у камері аеробокса. З рис. 6. видно, що значення τ_{fr} зменшується при наближенні ожеледної ситуації до природнього ожеледоутворення, а в момент його початку – рівне нулю.

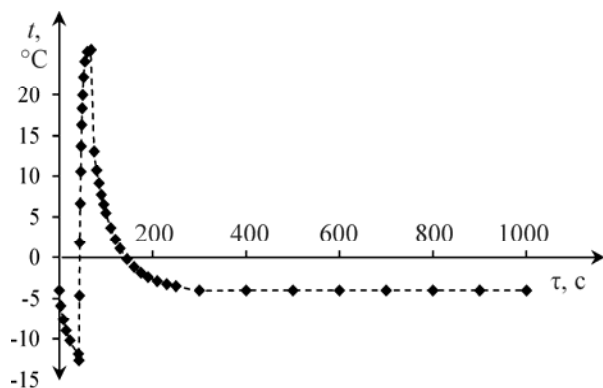


Рисунок 5 – Повний цикл «охолодження - нагрів-пауза» (умови з рис. 4)

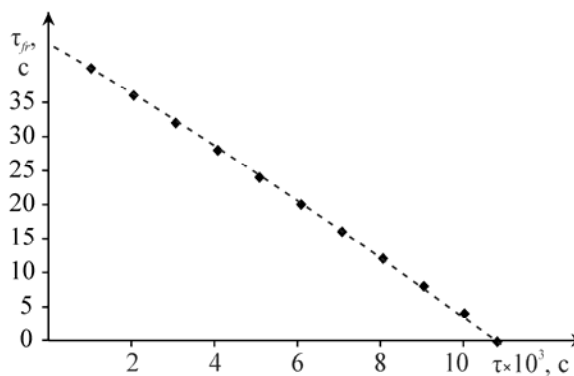


Рисунок 6 – Експериментальна крива зміни часу охолодження модифікованого зразка проводу

Питома потужність охолодження при однакових умовах, при внутрішньомасовому та фронтальному обледенінні склала, відповідно, 0,22 Вт/см та 0,17 Вт/см (при довжині зразка не більше 30 см). Відмінність цих потужностей пов'язана з тим, що плівка води на зразку на проводу виступає у ролі своєрідного теплоізолятора.

Висновки. Розроблено та перевірено методику експериментальних досліджень нестационарних теплових режимів неізольованих проводів. Отримані експериментальні значення діапазону потужностей охолодження зразків проводу АС-50/8 для фіксованого проміжку часу дозволяють покращити роботу СТДП в умовах обледеніння.

Список літератури

1. Потапенко В. Пріоритети політики України щодо попередження глобального потепління у посткіотський період: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/573/>.
2. Козловский А.А. Автоматизированная система прогнозирования разрушающих атмосферных нагрузок на элементы конструкций воздушных линий электропередач / А.А. Козловский, А.Е. Орлович, С.В. Серебрянников // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2002. – №2. – С. 46-48.
3. Bush R.A. Experimental verification of a real-time program for the determination of temperature and sag of overhead lines / R.A. Bush, T.C. Champion, W.Z. Black, W.R. Byrd // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. – 1983, July. – V.PAS-102, No 7. – p. 2284 – 2288.
4. Бургдорф В.В. Определение допустимых токов нагрузки воздушных линий электропередачи по нагреву их проводов / В.В. Бургдорф, Л.Г. Никитина // Электричество. – 1989. – №11. – С. 1 – 8.
5. Колмогорова И.М. Экспериментальные исследования для микропроцессорного сигнализатора гололеда / И.М. Колмогорова, М.Ц. Цыбикдоржиев, А.З. Винаров // Эксплуатация устройств сельскохозяйственного электроснабжения: сб. науч. тр. – Москва: Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства им. В.Г. Горячкина, 1989. – С. 39 – 42.
6. Пат. 63655 Україна, МПК⁷ H02G 7/16. Сигналізатор обледеніння проводів повітряних ліній електропередачі / Козловський О.А., Гришук І.С.; заявник і патентотримувач Кіровоградський національний технічний університет – № 201106291; заявл. 19.05.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. №19.

7. Мартинов М.И. Краткосрочный прогноз метеорологических условий обледенения самолетов на земле и взлетно-посадочной полосы в эропорту София / М.И. Мартинов, Н.Д. Богачева, А.Г. Богачев // Метеорология и гидрология. – 1983. – №7. – С. 54 – 60.
8. Thermophysical properties of brines. Models // M. CONDE ENGINEERING, Zurich 2011. – 9 p.

Oleksandr Kozlovskiy, Anatolij Orlovych, Vasylij Klymenko

Kirovograd National Technical University

An experimental investigation of unsteady thermal modes of non-isolated wire lines before icing process

In the article were conducted laboratory studies to determine the ranges of technical diagnostics settings of wires at icing process.

We described the conditions and methods of experimental research, laboratory equipment and design of wire samples. Cooling process power range of the sample non isolated wire AC- 50/ 8, required for the formation of the artificial ice and frost deposits at the most likely weather conditions for its natural icing was 0,25-0,17 W / cm.

The experimental data will improve the accuracy of technical diagnostics wires in icing conditions.
icing process of wires, transient thermal conditions, technical diagnostics of wires

Одержано 30.04.14

УДК 621.833

Ю.М. Коровайченко, доц., канд. техн. наук, Е.В. Надєїна, здобувач

Кіровоградський національний технічний університет

Особенности переточивання зуборізних головок з нахиленими різцями

Наближені циліндричні спіроїдні передачі значно технологічніші, ніж класичні, завдяки використанню для нарізування спіроїдного колеса зуборізними головками з нахиленими до осі головки різцями. Заточування різців таких головок має ряд особливостей, які необхідно враховувати при експлуатації інструменту.

зуборізна головка, виробляюча поверхня, передній кут, задній кут, кут профілю

Ю.М. Коровайченко, доц., канд. техн. наук, Е.В. Надеина, соискатель

Кировоградский национальный технический университет

Особенности переточивання зуборізних головок з нахиленими різцями

Приближенные цилиндрические спироидные передачи значительно более технологичные, нежели классические. Благодаря использованию при нарезании спироидного колеса зуборезными головками с наклоненными к оси головки резами. Заточивание резцов таких головок имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при эксплуатации инструмента.

зуборезная головка, вырабатывающая поверхность, передний угол, задний угол, угол профиля

Вступ. В роботі [1] показано, що геометро-кінематичні показники наближеної спіроїдної передачі мають значення, близькі до аналогічних показників передач спіроїдних спряжених. Але формоутворення поверхонь зубів наближених спіроїдних коліс значно спрощено [2].

© Ю.М. Коровайченко, Е.В. Надєїна, 2014