

Секція: Загальні питання та елементи електротехнічних комплексів та систем.

**Мережа метеопостів як спосіб  
контролю ожеледно-паморозевих утворень  
на лініях електропередавання**

Шифр «Тесла»

Суми – 2011

## ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	4
1. Принципи побудови мережі відомчих автоматизованих метеопостів.....	5
2. Загальна схема обробки й використання метеопараметрів .....	7
3. Структура системи передачі даних з метеопостів .....	12
4. Структура системи керування й збору інформації .....	14
ВИСНОВКИ .....	17
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	18

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АРМ – автоматизоване робоче місце
- АСДУ – автоматична система диспетчерського керування
- АСУ ТП – автоматична система управління технічним процесом
- ДСЕС – диспетчерська служба енергосистеми
- ДЦ – диспетчерський центр
- ЕЕС – електроенергетична система
- ЕМП НВЧ – електромагнітне поле надвисокої частоти
- ЛЕП – лінія електропередавання
- МВАМ – мережа відомчих автоматизованих метеопостів
- МЕК – Міжнародна Електротехнічна Комісія
- МПЛ – метеопост лінійний
- МПП – метеопост підстанційний
- ПЗ – програмне забезпечення
- ПЛ – повітряні лінії
- ПС – підстанція
- ОПУ – ожеледно-паморозеві утворення

## ВСТУП

Фізико-географічне положення України, природні процеси та явища, котрі виникають в атмосфері під дією різноманітних природних факторів або їхнього поєднання, зумовлюють високу частоту виникнення несприятливих для об'єктів електричних мереж умов експлуатації. Основними небезпечними кліматичними факторами, котрі діють на споруди електричних мереж, є тиск вітру та ожеледно-паморозеві утворення (ОПУ), окремо та в їхньому поєднанні.

В практиці боротьби з ожеледдю визначилися два напрямки, один із яких пов'язаний зі збільшенням механічної міцності ПЛ. Однак з урахуванням короткочасності періоду небезпечних ожеледних навантажень, що становить  $0,03 \div 0,5\%$  від повного строку експлуатації ПЛ [1,2], економічно виправданим є другий напрямок, що передбачає плавку ожеледі електричним струмом підвищеної величини. Ефективність цього способу повністю залежить від своєчасності виявлення появи ожеледі на проводах ПЛ.

## **1 Принципи побудови мережі відомчих автоматизованих метеопостів**

Для енергетики країн, розташованих у середніх широтах, а також України, зокрема, одержання інформації про можливість льодоутворення на лініях передачі електроенергії є актуальним завданням. Це тим більше істотно, що в останні роки в результаті різких змін погодних умов мав місце цілий ряд серйозних ушкоджень ПЛ у різних регіонах України, включаючи не тільки обрив проводів, але й падіння опор. Варто звалитися одній опорі, як за нею по "ефекту доміно" слідує сусідні: через зростання навантаження й зсуву центра ваги. У західних регіонах країни стихійні природні явища відбуваються все частіше. Оскільки найчастіше ці атмосферні зміни відбувалися зненацька, без відповідних попереджень Гідрометцентру, то вони спричиняли не тільки тривалі (до місяця й більше) відбудовні роботи на даних лініях, але й призводили до серйозних ушкоджень генеруючих і розподільних пристроїв, не кажучи про можливість людських жертв.

Запобігти обриву проводів внаслідок обледеніння дуже складно. Природно, що своєчасне попередження про можливість утворення ожеледі, а також експрес-контроль цього процесу у різних точках ліній передачі зможуть зберегти як працездатність різних систем електроенергетики, так і значні суми грошей, необхідні на відновлення зруйнованих ділянок. У зв'язку із цим, питанню вивчення фізичних процесів і ролі окремих метеоелементів при льодоутворенні, а також зв'язку цих процесів із синоптичним станом атмосфери в цілому присвячений ряд робіт, у яких основна увага приділялася впливу локальних, мікрокліматичних особливостей, що залежать від фізико-географічного характеру місцевості. Одночасно із цим слід зазначити, що систематичне дослідження даного питання й більшість пов'язаних з ним публікацій у наукових виданнях відносяться, на жаль, в основному до сімдесятих-вісімдесятих років минулого сторіччя.

В цих умовах, раціональним та ефективним рішенням для галузі може стати утворення спеціалізованої служби метеоінформації, призначеної для здійснення метеомоніторингу в границях територіального обслуговування

електричних мереж НЕК „Укренерго”.

Спеціалізований моніторинг повинен здійснюватися системно як просторово (в зоні всіх мереж НЕК „Укренерго”), так і приладо-вимірювально (на основі однакових спеціалізованих метеодатчиків та методик обробки інформації).

Мережа відомчих автоматизованих метеопостів (МВАМ) створюється з метою запобігання аварій, пов'язаних з появою ожеледі, шляхом своєчасного попередження оперативного персоналу про можливість і факт появи ожеледі й для вживання заходів по вмиканню установок плавки ожеледі й керування режимом їхньої роботи.

В число основних функцій МВАМ і пов'язаних з нею системами, повинні ввійти:

- автоматичне періодичне вимірювання метеорологічних параметрів;
- передача даних у реальному масштабі часу в АСУ ТП (АРМ чергового підстанції, АСДУ енергосистеми й АСДУ НЕК «Укренерго»);
- прийом, обробка й зберігання метеопараметрів у базах даних;
- аналіз і дорозрахунок параметрів і генерація попереджень оперативному персоналу;
- керування установками плавки ожеледі.

Дані, що надходять від МВАМ, повинні використовуватися для обліку впливу погодних умов на поточну й прогнозовану величину технологічних витрат електроенергії, а також структуру технологічних витрат електроенергії по різних елементах електромережі:

- дані реального часу про метеорологічну обстановку в районі проходження повітряних ліній дозволить більш точно планувати дії оперативних виїзних бригад, котрі виїждять для профілактичних і ремонтних робіт на ПЛ (наприклад, визначати непрохідні й небезпечні ділянки доріг і трас ПЛ, стан яких залежить від погоди).

- величина втрат потужності й електричної енергії в повітряних лініях сьогодні розраховується згідно ДСТУ 3860-99 [3,4]. Методані реального часу

дозволять підвищити точність розрахунку втрат на коронний розряд в 2-6 разів;

- величина втрат потужності й електричної енергії в трансформаторах сьогодні розраховується згідно ДСТУ 3860-99. Урахування впливу температури навколишнього середовища на втрати, відносно й абсолютне зношування твердої ізоляції відповідно до ГОСТ 14209-85 [5] та інших джерел дозволить збільшити точність розрахунку втрат на 20-50%.

Створення вичерпних баз даних, що включають метеорологічні дані, інтеграція спеціалізованих систем моніторингу – довготривалі й складні для здійснення в сучасних умовах завдання, котрі потребують координації зусиль і вживання спеціальних заходів на державному рівні. В той же час часткове завдання збору даних, аналізу, оцінки й прогнозування метеорологічної обстановки можна розпочати вирішувати на базі наявних засобів і рішень із залученням експертних оцінок і сучасних інформаційних технологій.

## **2 Загальна схема обробки й використання метеопараметрів**

Як було сказано вище, завдання збору та аналізу метеоданих необхідно вирішувати за допомогою системи автоматизованих метеопостів. Загальна схема оперативного використання поточних метеопараметрів ( $t^{\circ}$ ,  $\gamma$ ,  $G$ ,  $Q$ ,  $V$ ,  $\beta^{\circ}$ ) зображена на рис. 1.

Центральним місцем збору поточних метеопараметрів (первинних даних), є автоматизоване робоче місце (АРМ) чергового в системі АСУ ТП підстанції. На АРМ повинні надходити дані з МПП, встановленого на підстанції, а також з визначених МПЛ, якщо на підстанції встановлена базова станція радіоприйому даних з лінійних метеопостів.

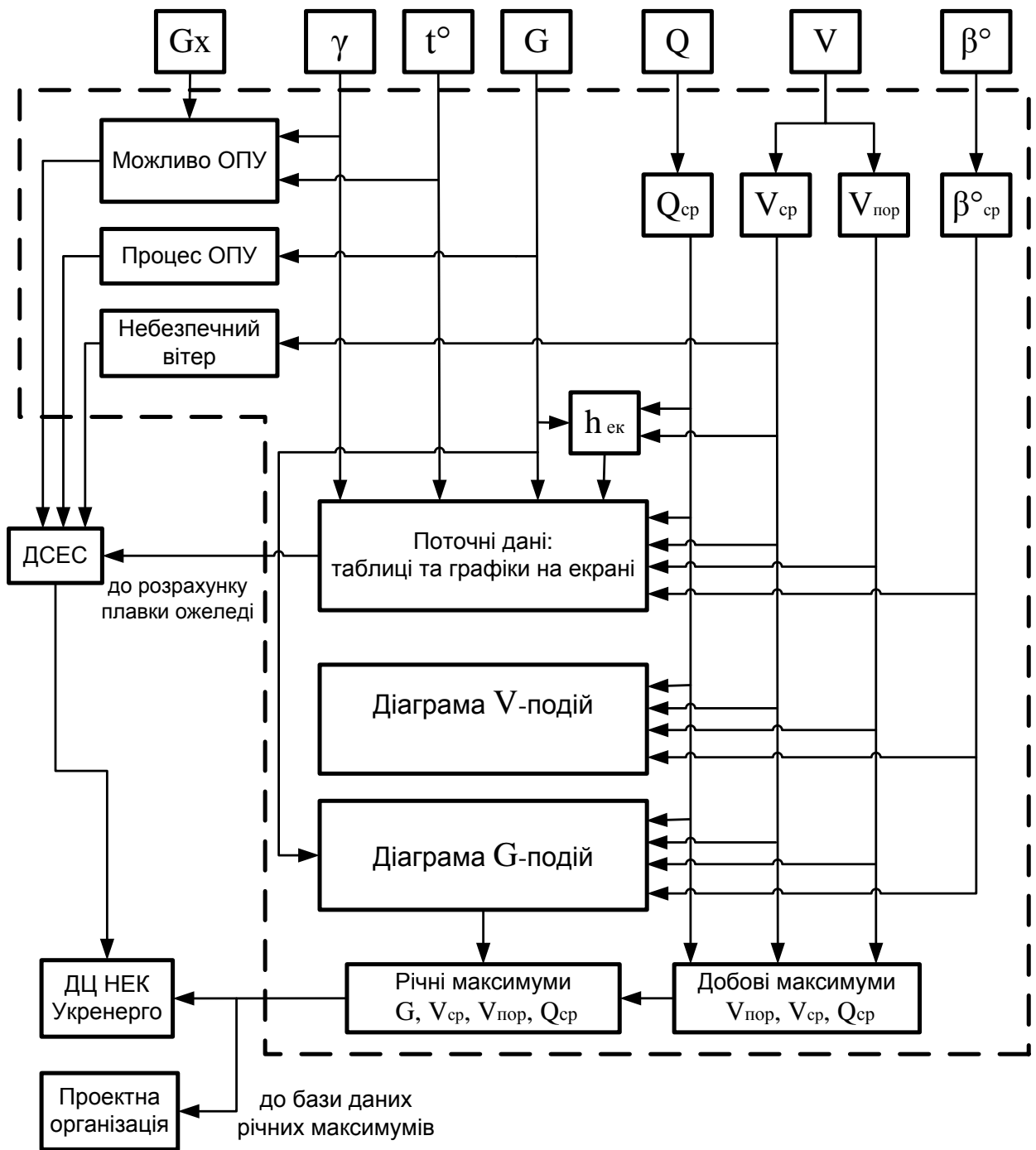


Рис. 1. Загальна схема обробки метеопараметрів

Позначення параметрів до схеми рис. 1:

$Q_{ср}$ ,  $V_{ср}$  – середні значення за 2 хв. сили та швидкості вітру;

$V_{пор}$  – швидкість вітру в пориві;

$h_{ек}$  – еквівалентна стінка ожеледі по щільності ОПУ;

G-події, V-події – ожеледні та вітрові події.



Метеопости МПП і МПЛ можуть включати як традиційні датчики метеопараметрів (температури повітря  $t^\circ$ , відносної вологості  $\gamma$ , вітрильної сили  $Q$ , швидкості вітру  $V$ , напрямку вітру  $\beta^\circ$ ), так і датчики нового типу – датчики маси ОПУ  $G$  та датчик попередження про початок утворення ожеледі  $G_x$ . Параметри повинні вимірюватися й передаватися на верхній рівень (АСУ ТП ПС) не рідше 1 разу в 30 хв, при цьому інтервал між вимірами повинен динамічно змінюватися залежно від метеорологічної обстановки. Передача метеопараметрів на рівень енергосистеми й у НЕК «Укренерго» повинна здійснюватися 1 раз в 30 хв. Тривалість виміру для  $t^\circ$ ,  $\gamma$ ,  $G$  – 3 с, для  $Q$ ,  $V$ ,  $\beta^\circ$  – 2 хв із частотою знімання даних 3 с.

Функції по обробці й використанню первинних даних, виконуваних у рамках АРМ, на рис. 1 обкреслені пунктирною лінією. Ці функції можуть бути реалізовані відповідним програмним забезпеченням (підсистемою метеоданих в АСУ ТП).

Пропонується здійснювати відображення поточних метеоданих у наступному вигляді.

Попереджувальні сигнали «Можливо ОПУ», «Процес ОПУ», «Небезпечний вітер» виводяться на екран монітора АРМ автоматично з подачею звукового сигналу, а також передаються на ДСЕС і ДЦ НЕК «Укренерго» (із вказівкою найменування метеопоста). Відеосигнали відображаються на фоні карти регіону в точках розташування метеопоста.

Поточні дані виводяться на екран монітора АРМ по запиті користувача. На екрані подається графічне зображення векторів сил, що діють на еталонний провід:

- вертикальні сили  $P$  (маса проводу без ожеледі) і  $G$  (маса ОПУ);
- горизонтальна сила  $Q_{ср}$  (вітрильна сила).

По лініях дії векторів встановлюються значення гранично-допустимих навантажень (вітрового і ожеледного) для ПЛ в зоні метеопосту (навантаження розраховуються за проектними даними ліній).

Маса проводу  $P$ , його діаметр  $d_0$  і значення граничних навантажень вводяться при установці програми.

Текстові зображення (таблиця) на екрані містять:

- найменування метеопоста, діаметр еталонного проводу  $d_0$ ;
- рік, місяць, число, час;
- поточні параметри  $t^\circ$ ,  $\gamma$ ,  $G$ ,  $Q_{\text{ср}}$ ,  $V_{\text{ср}}$ ,  $V_{\text{пор}}$ ,  $\beta^\circ$ ,  $h_{\text{ек}}$ .

Поточні дані про ожеледну обстановку ( $G$ ,  $V_{\text{ср}}$ ,  $t^\circ$ ) вводяться в програму розрахунку оперативних параметрів плавки ожеледі на ПЛ (програма розрахунку входить у систему АСДУ й підлягає окремій розробці для кожної підстанції).

Протікання ожеледної та вітрової події відображається на екрані (по запиту користувача) у вигляді діаграми  $G$ ,  $V_{\text{ср}}$ ,  $Q_{\text{ср}}$  (для  $G$ -події) та діаграми  $V_{\text{ср}}$ ,  $V_{\text{пор}}$ ,  $Q_{\text{ср}}$  (для  $V$ -події) як функції часу.

Фіксація  $G$ -події починається по сигналу «Процес ОПУ» і закінчується по факту скидання ОПУ з еталонного проводу (після прогріву). Указується напрямок вітру на початку й наприкінці події.

Фіксація  $V$ -події починається по сигналу «Небезпечний вітер» і закінчується після  $V_{\text{пор}} < 25$  м/с. Указується напрямок вітру на початку й наприкінці події.

На діаграмах фіксуються дата й час початку подій, а також указується найменування метеопоста й  $d_0$  еталонного проводу.

Діаграми зберігаються 1 рік від дати закінчення подій.

Програмний комплекс повинен здійснювати накопичення даних про максимальні навантаження.

Із діаграм  $G$ -подій поточного року вибирається максимальне значення  $G$ , зафіксоване в ожеледному сезоні, а також максимальні значення  $Q_{\text{ср}}$  і  $V_{\text{пор}}$ . Ожеледний сезон починається з 15 жовтня року  $n$  і закінчується 15 квітня року  $n+1$ .

На основі поточних даних формуються добові максимальні значення  $V_{\text{ср}}$ , а також максимальні значення  $Q_{\text{ср}}$  й  $V_{\text{пор}}$ . По закінченню календарного року з добових максимумів  $V_{\text{ср}}$ ,  $Q_{\text{ср}}$ ,  $V_{\text{пор}}$  проводиться вибірка річних максимумів.

Віднесення  $G$ ,  $V$ -подій до певного календарного року проводиться по даті початку події.

Дані про річні максимуми подій накопичуються, утворюючи базу даних багаторічних статистичних спостережень по метеопосту (указується найменування метеопосту й  $d_0$  еталонного проводу). На АРМ формується база річних статистичних даних по групі всіх метеопостів, що виходять на сервер одного АРМ. Кількість метеопостів у групі – до 10.

Дані бази АРМ передаються на ДЦ НЕК «Укренерго», де формується база багаторічних даних по всіх метеопостах магістральних мереж.

Повинен здійснюватися обмін даними між ДСЕС енергосистеми й ДЦ НЕК «Укренерго».

На ДСЕС і ДЦ НЕК «Укренерго» передаються в автоматичному режимі попереджувальні сигнали:

- сигнал «Можливо ОПУ», найменування метеопоста;
- сигнал «Процес ОПУ», найменування метеопоста;
- сигнал «Небезпечний вітер», найменування метеопоста.

На запит диспетчера на ДСЕС передаються поточні дані (таблиця з екрану).

На сервер АРМ можуть надходити вхідні дані від групи метеопостів розташованих на ПЛ, що відходять від підстанції або проходять на відстані до 50 км від підстанції.

На сервері АРМ повинні виконуватися всі необхідні процедури по кожному метеопосту групи, включаючи передачу даних на ДСЕС системи й ДЦ НЕК «Укренерго».

Попереджувальні сигнали відображаються на відеотерміналах ДСЕС і

ДЦ НЕК «Укренерго» у вигляді світних точок на картах регіонів у місцях розташування метеопостів. Візуальне відображення небезпечної метеоситуації на території дозволить диспетчерові прийняти рішення щодо оперативних дій на об'єктах [2, 6].

### **3 Структура системи передачі даних з метеопостів**

Структура комплексу технічних засобів МВАМ повинна включати 3 рівні (рис. 2):

- нижній рівень – рівень збору й первинної обробки метеоданих. Рівень реалізується власне автоматизованими метеопостами;

- середній рівень – рівень обробки даних для інформаційного забезпечення персоналу оперативного керування на підстанціях і передачі даних на верхній рівень;

- верхній рівень – рівень обробки, зберігання й накопичення статистичних баз даних, що надходять із усією територією електричних мереж.

Нижній рівень для постів МПП реалізується шляхом прокладки кабелю зв'язку між МПП й АРМ чергового підстанції.

Нижній рівень для постів МПЛ може реалізовуватися шляхом створення радіоканалів зв'язку між МПЛ і базовою радіостанцією, яка може бути встановлена на ПС або в іншому місці, зручному для її обслуговування й використання.

На нижньому рівні, реалізованому МПП і МПЛ (рис. 2), метеодані, зібрані з датчиків, повинні перетворюватися в пакети (кадри) і передаватися на більш вищий рівень.

Для МПП і більшості МПЛ (з базовою радіостанцією на підстанції) вищим (середнім) рівнем є рівень АСДУ підстанції, реалізований на АРМ оперативного персоналу (чергового) підстанції. Для виходу на верхній рівень доцільно використовувати наявні на ПС телемеханічні або інші виділені

канали зв'язку.

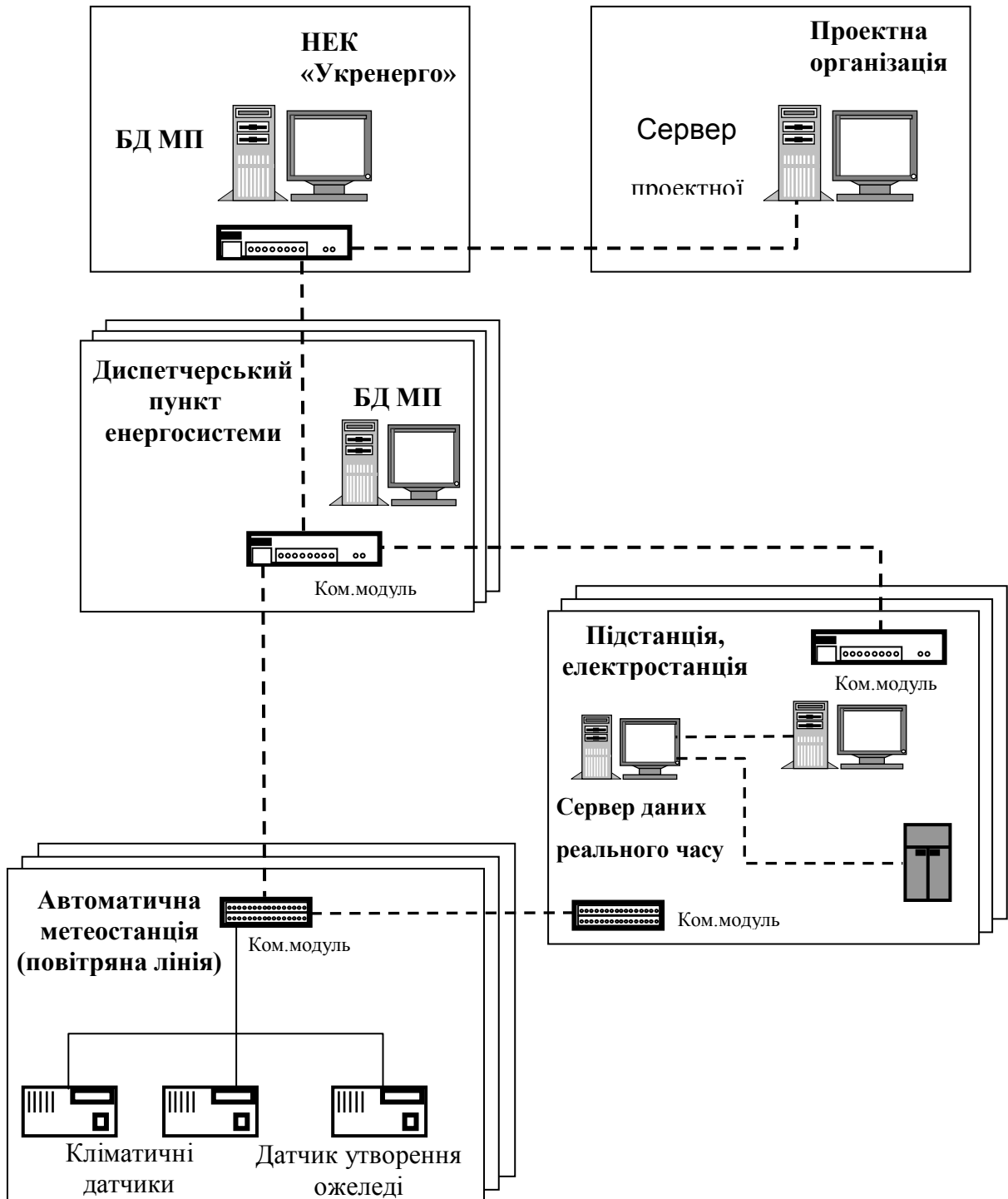


Рис. 2. Структурна схема МВАМ

Позначення до рис. 2: УПО – установка плавки ожеледі; АРМ ПС – автоматизоване робоче місце оперативного персоналу підстанції; ком. модуль – комутаційний модуль; БД МП – статистична база даних метеопараметрів.

## 4 Структура системи керування й збору інформації

Система керування повинна забезпечувати:

- збір аналогових даних вимірювачів метеопараметрів з періодичністю 0,5 години, тривалістю вимірів 3 секунди, і тривалістю усереднення окремих параметрів 120 секунд;
- перетворення аналогових даних у цифрові сигнали;
- увімкнення підігріву окремих вузлів і пристроїв метеопосту при зниженні температури повітря нижче 0 °С;
- увімкнення плавки ожеледі на імітаторах вимірювачів маси ожеледі й вітрильної сили через 48÷60 годин після початку ОПУ, з наступним відключенням плавки при скиданні ОПУ з імітаторів;
- вивід цифрових даних на опорний пункт підстанції;
- роботу блоку живлення пристроїв метеопосту.

Аналіз можливих шляхів апаратної реалізації системи керування й збору інформації показує, що одним з найбільш прийнятних, зокрема, за вартістю й простотою виготовлення, є побудова її на основі сучасних мікроконтролерів (МК). У цей час у продажі є широка гама зазначених пристроїв, а також супроводжуючих їх засобів програмування й налагодження. Серед них можна виділити два сімейства МК: PIC-16 виробництва Microchip Technology Inc. (США) і MCS96 фірми Motorola (США) [7, 8]. Ці сімейства включають в себе МК, що містять як комутатори аналогових сигналів (від 5 до 16 каналів) і аналого-цифрові перетворювачі (від 10 до 12 розрядів), так і цифрові двонапрявлені паралельні й послідовні порти вводу-виводу (у тому числі, і RS-232). Внутрішня структура зазначених МК містить також програмовані таймери й матриці двійкових лічильників. Таким чином, це готові системи керування й збору аналогової інформації. Важливою особливістю даних пристроїв є те, що з їхньою допомогою можна здійснити первинну обробку вимірюваної інформації – визначення середніх значень сигналів на довільному часовому інтервалі, корегування напруги зміщення «нуля» на первинних перетворювачах метеопараметрів і т.п.

Таким чином, єдине, що необхідно для збору даних про метеопараметри – уніфікувати рівні вихідних сигналів первинних вимірювальних перетворювачів таким чином, щоб їх можна було підключити до входу вбудованого в мікроконтролер комутатора аналогових сигналів. На рис. 3 представлений варіант структурної схеми ожеледно-вітрового метеопосту з використанням МК.

Вона містить у собі перетворювачі інформативних сигналів у напругу, вбудовані в МК комутатор, аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), модуль передачі даних у форматі RS-232, центральний процесорний пристрій і паралельні порти вводу-виводу, а також модуль керування нагрівачами.

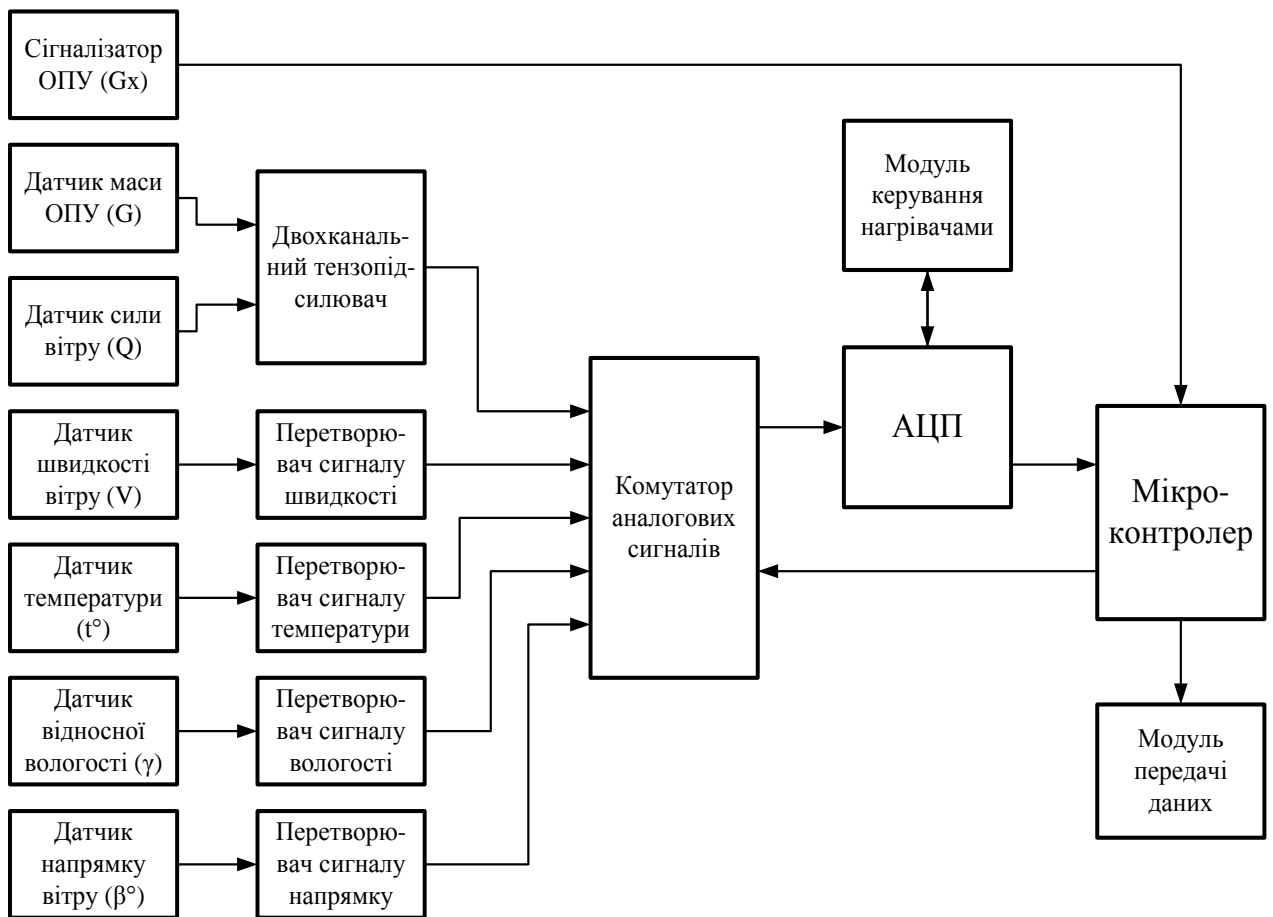


Рис. 3. Структурна схема метеопосту

Останній модуль містить у собі тиристорні ключі, керовані з паралельного порту МК. Для забезпечення гальванічної розв'язки між

нагрівачами й вимірювальною частиною МК доцільно використати оптоелектронні пристрої (діодні або транзисторні оптрони).

Застосування МК для побудови метеопосту, хоча й збільшить вартість розробки за рахунок одноразової покупки програмного забезпечення й засобів налагодження, однак, при цьому вартість серійного метеопосту зменшиться. З іншого боку, пристрій керування на основі МК може бути одним і тим же, як для підстанційних, так і для лінійних метеопостів. При цьому розходження в алгоритмах функціонування зазначених метеопостів реалізуються програмним шляхом.



## ВИСНОВКИ

1. З метою запобігання аварій на ПЛ, пов'язаних з появою ожеледі, й для вживання заходів по вмиканню установок плавки ОПУ й керування режимом їхньої роботи необхідне створення мережі відомчих автоматизованих метеопостів (МВАМ). МВАМ створюється також і для здійснення метеомоніторингу на ЛЕП в цілому.

2. Повноцінна характеристика ОПУ може бути отримана при використанні, як мінімум, двох видів датчиків: датчика наявності ожеледі (сигналізатор ОПУ) та датчика маси ожеледі.

3. Запропонований варіант оснащення метеопостів технічними засобами дає повне уявлення про метеообстановку на енергетичному об'єкті. Крім того, описані засоби забезпечують досить широкий діапазон вимірюваних значень, високу термостабільність, швидкодію, простоту виготовлення та експлуатації, надійність.

4. Алгоритм функціонування метеопосту доцільно реалізувати за допомогою сучасних мікроконтролерів високого ступеня інтеграції. Це дозволить мінімізувати вартість системи керування та збору інформації як для підстанційних, так і для лінійних метеопостів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мірошник О.О. „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” / О.О. Мірошник // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – 2005. – № 1. – С. 5–8.
2. Волохін В.В. Метод та пристрій контролю ожеледно-паморозевих утворень для підвищення експлуатаційних характеристик ліній електропередавання: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.11.13 / В. В. Волохін. – Харків, 2010. – 22 с.
3. Дьяков А.Ф. Предотвращение и ликвидация гололедных аварий в электрических сетях энергосистем. / А.Ф. Дьяков, А.С. Засыпкин, И.И. Левченко – Пятигорск.: Изд-во РП «Южэнергонадзор», 2000. – 284 с.
4. Лебединский И.Л. Способы и устройства предупреждения гололедно-изморозевых образований / И.Л. Лебединский, С.Ю. Шевченко, В.В. Волохин // Вісник Сумського державного університету. – 2008. – № 2. – С. 21–25.
5. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки: ГОСТ 14209-85. – [Действует с 1985-07-01]. – Госстандарт СССР, 1985. – 38 с. – (Код КГС: Е64; Код ОКС: 29.180).
6. Воропай Н.И. Организация системы мониторинга энергетического хозяйства России на базе новых информационных технологий / Н.И. Воропай, Л.В. Массель, Г.Б. Славин // Электричество. – 2002. – №9 – С. 10–14.
7. Предко М. Справочник по PIC-микроконтроллерам / Майкл Предко; пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2002 // ООО «Издательский дом «ДОДЭКА-XXI», 2002. – 512с.
8. Шагурин И.И. Современные микроконтроллеры и микропроцессоры Motorola. / И.И. Шагурин – Изд.: Горячая Линия – Телеком, 2004. – 951 с.