

УДК 621.311.245(045)

<sup>1</sup>П. Ф. Васько, д-р.техн.наук,  
<sup>2</sup>Б. А. Кромпляс, канд. техн. наук,  
<sup>3</sup>О. І. Даниленко,  
<sup>3</sup>В. В. Долюк,  
<sup>4</sup>В. П. Карєв

## ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРОМИСЛОВИХ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

<sup>1</sup>Інститут відновлюваної енергетики НАН України, e-mail: hydro@ive.org.ua

<sup>2</sup>Інститут електродинаміки НАН України, e-mail: b\_kromp@i.ua

<sup>3</sup>Державне підприємство ЕТУ «Воденергоремналадка», e-mail: etu@sf.ukrtel.net

<sup>4</sup>Державне підприємство «Енергопроект» e-mail: tgo\_kiizi@mail.ru

*Розглянуто особливості побудови інформаційно-вимірювальних систем моніторингу параметрів електроенергії промислових вітрових електростанцій та вимоги до її апаратури збору та реєстрації даних. Показано приклад реалізації такої системи на промисловій вітрових електростанцій.*

**Ключові слова:** вітрова електростанція, система, мультиметр, система вимірювань, моніторинг, реактивна потужність.

**Постановка завдання.** Проектні рішення сучасних промислових вітрових електростанцій (ВЕС) не передбачають засобів моніторингу параметрів генерованої енергії [1]. Штатні засоби та системи вимірювань орієнтовані лише на облік електроенергії з дискретністю 30 хвилин. Проте досвід експлуатації ВЕС показав необхідність упровадження на них автоматизованих систем моніторингу параметрів електроенергії (СМПЕЕ), що зумовлено стохастичним характером генерування і споживання цими ВЕС активної та реактивної потужності.

Дослідження функціонування ВЕС показали, що під час генерування, іноді на складових вузлах ВЕС, виникають перенапруги, зумовлені декількома причинами, зокрема пульсаціями швидкості вітру, котрі служать причиною вимкнень системою захисту вітроенергетичної установки (ВЕУ) компенсаційних конденсаторів, що призводить до збільшення споживання реактивної енергії. Теоретичний аналіз та обґрунтування наявності пульсацій генерованої електроенергії окремої ВЕУ виконано в працях [2; 3], практичне підтвердження результатів цього аналізу було отримано в результаті експериментів, які проводились на вітроелектричній установці Т600-48 Мирнівської ВЕС [4].

Разом з тим технічні та експлуатаційні характеристики застосованої апаратури відліку та реєстрації даних дозволяли проводити досліди в обмежені проміжки часу, зокрема для часового інтервалу 10 хвилин. Ця обставина не дає вагомих аргументів для перенесення отриманих результатів на промислові ВЕС зі значною кількістю ВЕУ і на різних режимах роботи. Проводити такий аналіз та виробляти відповідні алгоритми функціонування ВЕС можна лише на основі обробки та аналізу великих масивів даних, зібраних протягом тривалого періоду і в багатьох точках ВЕС, а отримати ці дані можна лише застосуванням СМПЕЕ. Експериментальне визначення закономірностей виникнення перенапруг надає принципову можливість для їх зменшення аж до доведення до нормативного значення [5] за рахунок створення оптимального компенсатора реактивної потужності, котрий можна буде встановлювати на кожній трансформаторній підстанції (ТП) ВЕС [6 – 8]. Зменшення споживання ВЕУ реактивної енергії дозволить підвищити рентабельність станції до 20 % [7; 9], що дозволить здешевити вироблену електроенергію і відшкодувати витрати на впровадження СМПЕЕ. Варто відзначити також і те, що наявність бази даних показників роботи окремих ВЕУ та їх груп дозволить виконати аналіз ефективності роботи залежно від

типів, територіального розміщення, конфігурації груп та здійснювати заходи щодо збільшення ефективності роботи цих ВЕУ. Крім того, ці дані можна використовувати для діагностики ВЕУ.

**Виклад основного матеріалу.** Розробляючи можливі варіанти структур СМПЕЕ, автори виходили з того, що для забезпечення її ефективності та мінімізації витрат на впровадження, потрібно виконувати таке.

1. Система повинна встановлюватися вже на діючих ВЕС з мінімальною зміною штатних схем з'єднань та модернізацією обладнання ВЕС.

2. Система повинна мати здатність легко нарощуватися, переконфігуруватися як апаратно, так і програмно.

3. Вітрові установки промислових ВЕС можуть бути розташовані на значних відстанях (до 5 – 7 км на діючих ВЕС, і до 100 – 300 км на ВЕС, які мають ВЕУ нового покоління) від пункту управління та збору даних, тому для передавання даних потрібно застосовувати інтерфейси з послідовним передаванням даних, здатних функціонувати в штатних лініях зв'язку ВЕС.

4. Пристрої збору та первинної обробки даних системи мають задовольняти такі вимоги:

- вимірювати і передавати дані про весь необхідний для моніторингу комплекс параметрів генерованої електроенергії, тобто бути багатофункціональними;
- конструктивно легко встановлюватися в штатні щити та шафи ВЕС;
- мати функцію автономної роботи з ручним керуванням та індикації даних.

У результаті аналізу пропозицій на ринку засобів збору і передавання даних для побудови СМПЕЕ були вибрані цифрові мультиметри серії фірми Lovato Electric [10 – 12]. Ці мультиметри випускаються в модифікаціях для встановлення як в шафи – на стандартні DIN-рейки (DMK30, DMK32), так і в щитовому варіанті – DMK64, DMK40. Мультиметри об'єднуються в систему через послідовний інтерфейс RS 485, протокол обміну – MODBUS RTU. Це дає змогу організувати систему за допомогою витих пар у штатних кабелях ВЕС.

Для серії приладів DMK32, DMK64 фірмою розроблено та надається програмне забезпечення (ПЗ) – система SCADA [11] для стандартних персональних комп'ютерів (ПК) з операційною системою WINDOWS. Це ПЗ дозволяє ПК виконувати функції системного резидента має хороший графічний інтерфейс і для СМПЕЕ вітрова електростанція може повністю забезпечити функції збору та архівації даних. Наявність у системі SCADA функцій конвертації масивів нагромаджених даних у різні формати дозволяє розробляти спеціалізовані програми аналізу даних на базі фірмових програм ASSES, EXEL та інших і навіть організувати оперативний обмін даними цих спеціальних програм із системою SCADA через буферний файл даних.

Одна з основних функцій СМПЕЕ ВЕС – це забезпечення достатньої точності моніторингу, яка значною мірою залежить від правильного встановлення періоду дискретизації відліків значень вимірюваних параметрів. При побудові СМПЕЕ на основі вказаних вище мультиметрів і системи SCADA від значення цього періоду залежить і можлива кількість приладів і вимірюваних параметрів системи, оскільки у цій системі в кожному сеансі обміну з окремим приладом знімаються дані останнього вимірювання параметрів.

Проведені дослідження показали, що середній період пульсацій вітру становить від трьох до шести секунд [3]. Ураховуючи те, що функція зміни реактивної потужності ВЕУ прямо пропорційна змінам пульсації вітру, то згідно з теоремою Котельникова період квантування відліків параметрів має не перевищувати 1,5 – 3 с. Мінімальний період вимірювань, який забезпечують мультиметри типу DMK, – одна секунда, що задовольняє наведені вище вимоги для СМПЕЕ ВЕС.

Для перевірки наведених вище викладок і експериментального визначення похибок вимірювання миттєвих значень вимірюваних параметрів мультиметрами DMK були

проведені експерименти на Мирненській ВЕС. У цих експериментах виконувалися синхронні вимірювання одних і тих же параметрів мультиметром DMK-32 з періодом відліків одна секунда та комплексом портативний вимірювальний перетворювач [13] – осцилограф-реєстратор PCS500 з періодом відліків 0,1с. Отримані дані синхронних вимірювань заносилися в ПК. Для ілюстрації наведемо результати вимірювання струму генерування на одній з фаз вітроелектричного модуля ТП-11 з кількістю ВЕУ USW56-100 9. Усі ВЕУ працювали при вітрі зі змінною швидкістю 7 – 11 м/с. Тривалість проведення сеансу вимірювань становила 10 хв – це час, що прийнятий за період осереднення вимірюваних даних, отриманих під час дослідження швидкості вітру. На рис. 1 показано графіки результатів вимірювань: рис. 1, а – мультиметром DMK-32 з періодом відліків 1 с, рис. 1, б – згадуваним вище комплексом з періодом відліків 0,1 с.

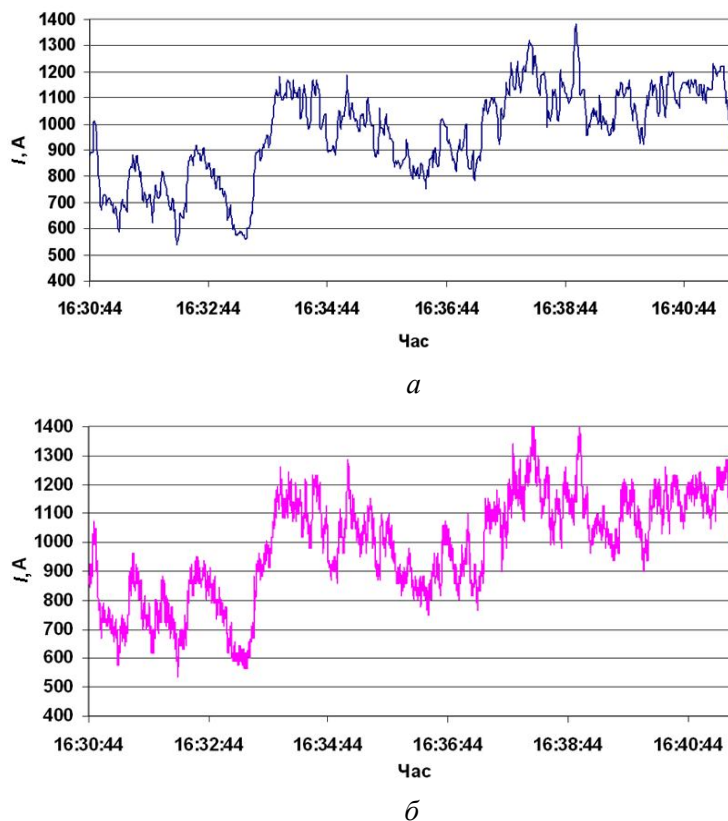


Рис. 1. Графіки вимірювань струму генерування модуля ВЕС: а – мультиметром DMK32 з періодом вимірювань 1с.; б – вимірювальним комплексом з періодом 0,1с

Із цих графіків видно, що період реєстрації даних за одну секунду дозволяє отримати чітку та коректну картину зміни параметра генерованої енергії в перехідних та нестійких режимах роботи ВЕС. За розрахунками методичної похибки та оцінювання випадкових відхилень статистичних характеристик результатів вимірювань зведена похибка миттєвих результатів вимірювань приладом типу DMK з періодом квантування одна секунда становить 2,03 – 3,14 %, що прийнятно для моніторингу параметрів зі стохастичним характером зміни. Разом з тим такий період (одна секунда) істотно обмежує кількість приладів та вимірюваних параметрів СМПЕЕ з оперативним безпосереднім збором даних. До малого періоду збору даних додаються ще й суттєві обмеження швидкості обміну даними: враховуючи якість ліній зв'язку і територіальну віддаленість точок збору даних, швидкість обміну даними не може перевищувати 9600 біт/с. На цій швидкості в системі, побудованій на цих приладах, за одну секунду може бути передано не більше 100 параметрів, або проведено обмін не більше ніж з чотирма мультиметрами при кількості 8 вимірюваних

параметрів кожним. Для збільшення кількості точок точного моніторингу вузлів ВЕС пропонуються такі варіанти.

Варіант перший – збільшувати період опитування мультиметрів, що дозволяє збільшувати їх кількість в системі, але при цьому втрачається точність вимірювань. Такий варіант можливий для періодів відносно стабільної швидкості вітру, оскільки система дозволяє програмну активацію-деактивацію окремих приладів. Виконання цієї операції в межах вказаного варіанта системи може здійснюватися оператором

Варіант другий – розділяти систему на декілька підсистем з окремими системними контролерами, варіант досить витратний, враховуючи, що в ролі такого контроллера виступає ПК. Крім того, для інтегрованої обробки даних цей варіант вимагає або створення окремої мережі для ПК і відповідного матзабезпечення, або ж ручного перенесення даних.

Варіант третій – застосування мультиметрів з функцією реєстрації результатів вимірювань у внутрішній енергонезалежній пам'яті. В серії мультиметрів серії DMK пропонуються прилади DMK40 з енергонезалежною пам'яттю даних. Ці прилади можуть працювати в автономному режимі і нагромаджувати масиви даних, причому вид вимірюваних параметрів, частота реєстрації, активація-деактивація режиму запису у власний архів задаються програмно по системному інтерфейсу. Для цього мультиметрам DMK40 надається відповідне математичне забезпечення: DMK-SW10 [12]. Система, побудована на базі цих приладів, може функціонувати за таким алгоритмом:

а) у періоди стабільного вітру в системі встановлюється такий час опитування, який дозволяє знімати дані з усіх приладів;

б) у моменти, коли виникає потреба в точному моніторингу, оператор переводить частину мультиметрів на автономне функціонування з часом вимірювання параметрів 1 с і фіксації відліків у внутрішньому архіві даних вимірювань;

в) після закінчення періоду точного вимірювання оператор виконує операції зчитування архівів приладів по системному інтерфейсу в системний ПК для їх наступного аналізу.

Цей варіант має як і очевидні переваги, так і недоліки, серед яких варто відзначити суб'єктивний характер визначення моментів активації-деактивації режиму запису в архів і втрату оперативного контролю за вимірюваними параметрами на час автономного функціонування мультиметра.

Різновидом цього варіанта є повне автономне функціонування мультиметра в окремих вузлах ВЕС, оскільки в мультиметрах DMK40 передбачено програмне встановлення активації-деактивації режиму запису в архів за встановлюваними пороговими значеннями певних параметрів. Для періодичного зчитування архівів використовується або портативний ПК, або спеціалізований логер. Перевагами такого приладу є те, що його можна застосовувати у віддалених точках ВЕС, куди не прокладені лінії зв'язку, і те, що моменти активації-деактивації режиму запису в архів детермінізовані. Недоліком цього способу є відсутність можливості програмування приладів на оптимальний алгоритм ініціалізації-зупинки процесу архівування відліків, оскільки ці операції для параметрів ВЕС доцільно формувати на основі значень швидкості їх зміни (або величини приростів), а такий алгоритм в серійних мультиметрах не передбачено.

Наведені варіанти були застосовані для побудови СМПЕЕ Мирнівської ВЕС, фрагменти схеми з'єднань якої показано на рис. 2.

На пульті керування персональні комп'ютери ПК1 та ПК2 виконують функції системних контролерів двох підсистем збору даних. Послідовні порти комп'ютерів ПК1 та ПК2 через перетворювачі інтерфейсів ПІ1 та ПІ2 через систему кросових з'єднувачів КС витими парами жил кабелів з'єднані з мультиметрами типів DMK62 та DMK40. Мультиметри розташовані та під'єднанні в характерних точках ВЕС: вітроелектричних модулях ТП та окремих ВЕУ.

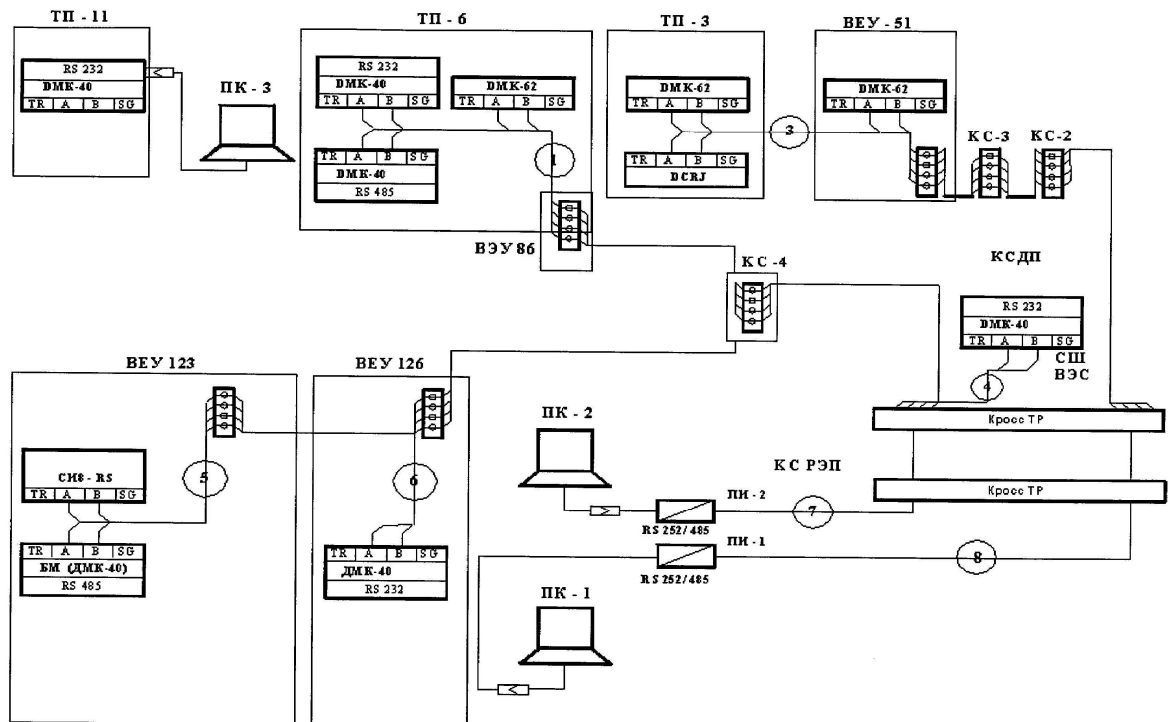


Рис. 2. Система моніторингу параметрів електроенергії Мирненської ВЕС. Фрагмент схеми з'єднань

На вітроелектричних модулях, що об'єднують великі групи ВЕУ (на схемі показано для ТП6), застосовано третій варіант побудови системи: для оперативного відслідковування інтегральних параметрів – DMK62 з безпосереднім введенням даних у ПК2, а для окремих агрегатів – DMK40 зі зчитуванням архівів даних за командою оператора з диспетчерського пункту.

Вітрові установки промислових ВЕС можуть бути розташовані на великих відстанях від пункту керування. При цьому характеристики штатних ліній зв'язку можуть не забезпечувати потрібної для функціонування СМПЕЕ швидкості обміну даними, а до найбільш віддалених ВЕУ лінії можуть і не доходити. Про один з варіантів вирішення автономної роботи мультиметра DMK40 йшлося вище і він застосований в системі Мирнівської ВЕС, що й показано на рис. 2 для ТП 11. В цьому випадку архіву даних зчитується через ноутбук – ПК3 безпосередньо із самого мультиметра.

Іншим варіантом вирішення цієї проблеми є об'єднання групи віддалених від центра збору даних, але близько розміщених один від одного ВЕУ локальною лінією інтерфейсу RS 485, і обмін даними з центром збору даних через радіомодем з відповідним вихідним інтерфейсом, наприклад SST-900EXT [14; 15]. Функціональну схему організації такого обміну показано на рис. 3.

На віддалених групах об'єктів ВЕС: ВЕУ, трансформаторних підстанціях ТП, модулі збору даних МЗД1–МЗДк, об'єднуються в локальні підсистеми лініями інтерфейсу RS 485. Цими модулями можуть бути як вказані вище мультиметри, так і інші пристрої з відповідним інтерфейсом. Для кожного модуля збору даних у всій системі встановлено індивідуальну адресу. Лінії інтерфейсу замикаються на радіомодем РМ(S), який в цій конфігурації системи виконує роль веденого (Slave), тобто трансформує і передає потоки даних, генеровані модулями збору даних та системним контролером системи, яким є ПК СМПЕЕ. Персональний комп'ютер здійснює зв'язок та проводить сеанси обміну даними з МЗД через аналогічний радіомодем РМ(M), котрий виконує функції ведучого (Master). Для цього в ПК повинен бути відведений окремий порт зв'язку (для радіомодемів SST-900EXT, зокрема, це СОМ-порт).

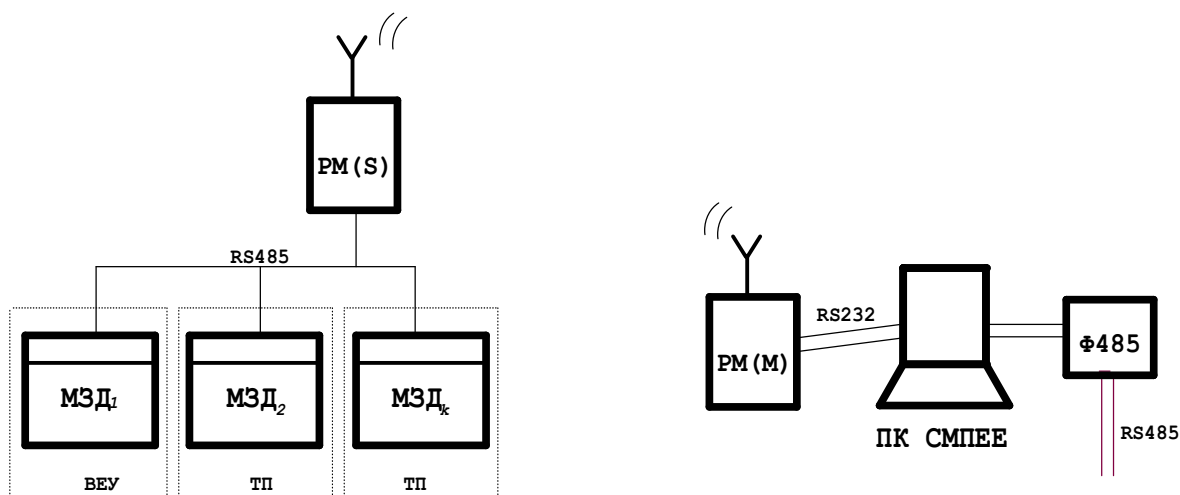


Рис. 3. Функціональна схема обміну даними в СМПЕЕ через радіомодеми

Обмін даними ПК з абонентами системи по провідних лініях зв'язку здійснюється з іншого порту ПК через відповідний формувач Ф485 сигналів інтерфейсу. Програмне забезпечення системи в цьому випадку має забезпечувати режим мультипортового приймання даних. У радіомодемах передбачено багатоканальний обмін даними, що дає змогу реалізовувати щонайбільше 8 аналогічних підсистем обміну (з подвоєною кількістю потрібних для цього модемів).

Зв'язок з віддаленими модулями через радіомодем дозволяє не лише обходитись без довгих ліній зв'язку, але й забезпечує роботу за максимально можливих швидкостей обміну даними, що суттєво збільшує реальну інформаційну продуктивність усієї СМПЕЕ. Проведені на Мирнівській ВЕС сеанси обміну за запропонованою схемою підтвердили перспективність її застосування, але виявили обмеження щодо відстані обміну: 2 – 3 км. Застосування більш потужних радіомодемів не дозволяє обмежувати стандарт роботи на цьому діапазоні частот.

Для обміну даними на більших відстанях найбільш перспективним, на нашу думку, є застосування стільникових GSM-мереж, зокрема послуги GPRS, основна функція якої – забезпечення можливості виходу окремих абонентів (в нашому випадку інформаційних пристроїв) в інтернет через GPRS-контролери. Це дозволяє організувати обмін даними між віддаленими інформаційними точками системи та резидентним ПК на основі протоколу TCP/IP, якщо ПК надати фіксовану IP-адресу. Суттєво те, що обладнання GSM-мережі використовується тільки під час обміну даними. За такого обміну фактичним обмеженням кількості приладів, що одночасно обмінюються даними з ПК, є пропускна здатність каналу під'єднання до інтернету. Так, при підключенні ПК до інтернету через ADSL-модем, котрий працює на абонентській ділянці звичайної телефонної лінії, можна здійснювати одночасний обмін принаймні з кількома десятками приладів типу DMK. Це дозволяє повністю вирішити проблему організації обміну даними в системі в реальному масштабі часу.

Можливу схему організації обміну даними СМПЕЕ Прісноводненської ВЕС із застосуванням GPRS-послуги показано на рис. 4.

Окремі територіально близькі мултиметри провідними лініями послідовного інтерфейсу об'єднуються в локальні підсистеми з контролерами GPRS. Ці контролери через GSM-мережу обмінюються даними з GPRS-сервером провайдера інтернету, з котрим через провідну лінію зв'язку ЛЗ з'єднується ПК СМПЕЕ вітрових електростанцій. Така конфігурація системи, незважаючи на збільшення витрат, не лише забезпечить повний збір та реєстрацію всієї необхідної інформації, але й може бути встановлена в точках ВЕС, де взагалі немає ліній зв'язку.

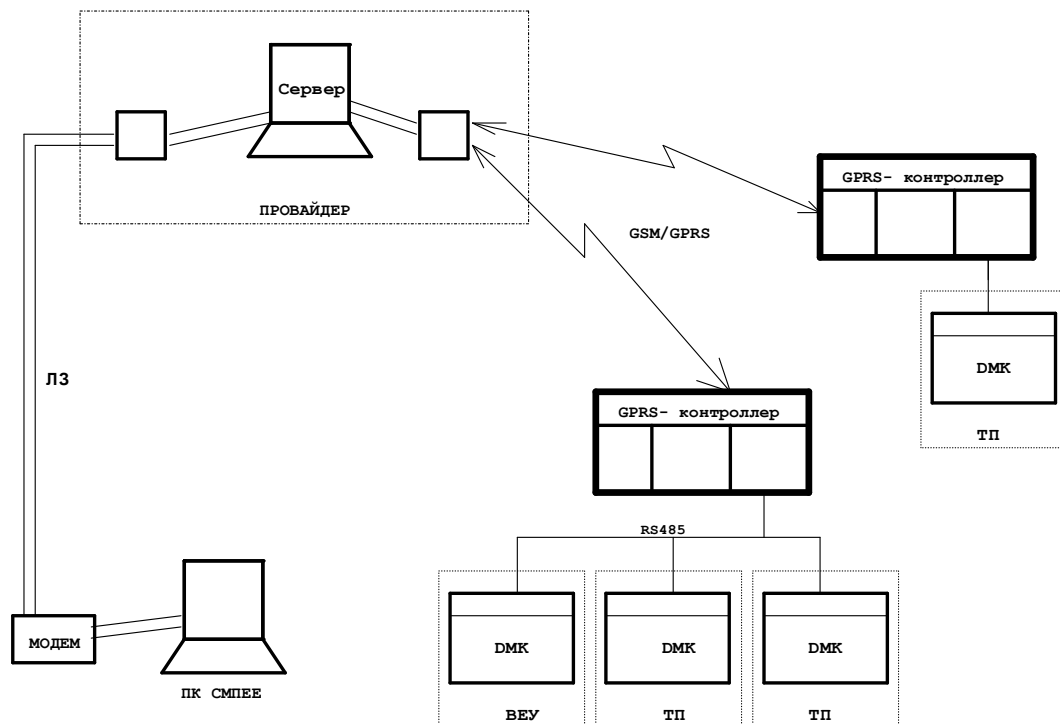


Рис. 4. Схема організації обміну даними СМПЕЕ із застосуванням GPRS- послуги

**Висновки.** Запропоновані варіанти побудови систем моніторингу параметрів електроенергії промислових ВЕС були реалізовані та пройшли випробування на діючих станціях (Мирнівській та Прісноводненській ВЕС), довели свою ефективність і можуть бути застосовані на інших діючих або споруджуваних ВЕС. На Прісноводненській ВЕС замість мультиметрів серії DMK застосовано вимірювальні перетворювачі вітчизняного виробництва типу МТЕ 1420, які мають вищі порівняно з мультиметрами DMK точність та динамічні характеристики. На жаль, для цих приладів ще не створено системи SCADA, яка могла б повністю реалізувати потенційні можливості перетворювачів (застосовано перетворювачі адаптовані під систему фірми LOVATO, з якою працюють мультиметри серії DMK). Створення такої системи і модернізація алгоритмів роботи перетворювачів МТЕ 1420 відповідно до завдань СМПЕЕ ВЕС дає можливість створити високоефективну систему вітчизняного виробництва на рівні кращих зразків.

#### Список літератури

1. ГКД 341.003.001.002–2000. Правила проектування вітрових електричних станцій. М. М. Жовмір, А. С. Симонов, В. М. Ковецький та ін. – К.: Мінпаливенерго України, 2001. – 52 с.
2. Васько П. Ф. Динамика нагрузочных режимов работы ветроэлектрической установки, обусловленная порывами скорости ветра. / П. Ф. Васько, В. П. Васько // Вісн. Донбаської держ. акад. будівництва і архітектури. Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Т.1. Вплив вітру на будинки і споруди. – Донецьк, 2001.– №4(29) – С. 140 – 144.
3. Денисенко Г. И. Стохастическое моделирование параметров ветра для задач ветроэнергетики / Г. И. Денисенко, П. Ф. Васько, П. П. Пекур // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1990. – № 2. – С. 109 – 115.
4. Васько П. Ф. Експериментальні дослідження режимів генерування та споживання реактивної потужності серійною вітроелектричною установкою з асинхронним генератором / П. Ф. Васько, В. П. Васько, О. І. Даниленко, В. В. Долюк // Відновлювана енергетика. – 2008. – №1. – С. 34 – 38.

5. ГОСТ 13109–97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость техническая электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – К.: Госстандарт Украины, 1999. – 31 с.
6. Бриль А. О. Задача компенсації реактивної енергії введених в експлуатацію вітрових електростанцій / А. О.Бриль, В. П. Васько, П. Ф.Васько // Вітроенергетика України. – К.: МНТЦ вітроенергетики, 2002. – №2. – С. 12 – 15.
7. Васько В. П. Аналіз процесів генерування активної та реактивної потужності вітроелектричною установкою з асинхронним генератором у складі промислових вітроелектростанцій / В. П. Васько // Технічна електродинаміка. – 2002. – №5. – С. 64 – 67.
8. Даниленко А. И. Анализ перетоков реактивной электроэнергии на промышленной ветровой электростанции с асинхронными генераторами / А. И. Даниленко // Оптимизация производственных процессов. Сб. науч. тр. – Севастополь: СевНТУ, 2005. – Вып.8. – С. 58 – 64.
9. Васько В. П. Влияние уставок регулирования ветроэлектрических установок на эксплуатационные показатели / В. П. Васько // Технічна електродинаміка. Тематичний вип. “Моделювання електронних, енергетичних та технологічних систем”. Ч1. – К., 1999.– С. 38 – 41.
10. Digital multimeters DMK series // Інтернет ресурс: [www.lovatoelectric.com](http://www.lovatoelectric.com)
11. Digital multimeters dmk series. Remote control software manual. – № 166 gb 03.05. – 40 p.
12. Dmk40 data-logger. Software manual – №154 gb 02.04 – 19 p.
13. Васько П. Ф. Портативний вимірювальний перетворювач для моніторингу енергетичних параметрів об'єктів міні- та мікро – гідроенергетики / П. Ф.Васько, О. І. Даниленко, Б. А Кромпляс // Відновлювана енергетика XXI століття: Матеріали VIII Міжнар. конф. АР Крим, смт. Миколаївка, 17–21 вересня 2007р. – Крим, 2007. – С. 206 – 207.
14. Васько П. Ф. Організація збору даних з територіально віддалених об'єктів ВЕС / П. Ф.Васько, О. І. Даниленко, В. В. Долук, Б. А Кромпляс // Відновлювана енергетика XXI століття: Матеріали IX Міжнар. конф. АР Крим, смт. Миколаївка, 15–19 вересня 2008р. – Крим, 2008. – С. 196 – 197.
15. SST900 Wireless Radio Modem User's Manual. Rev: B1.2, Date:2001-11 – 28 p.

П. Ф. Васько, Б. А. Кромпляс, О. И. Даниленко, В. В. Долук, В. П. Карев

### **Информационно-измерительная система мониторинга параметров электроэнергии промышленных ВЭС**

Рассмотрены особенности построения информационно-измерительных систем мониторинга параметров электроэнергии промышленных ВЭС и требования к ее аппаратуре сбора и регистрации данных. Приведены примеры реализации системы промышленных ВЭС.

P. F. Vasko, B. A. Kromplyas, O. I. Danylenko, V. V. Doluk, V. P. Karev

### **The informational and measuring system for monitoring of electric power parameters of industrial WPP**

Features of construction of informational and measuring systems for monitoring of electric power parameters of industrial WPP and requirements to the instrumentation for collecting and data recording are described. The examples of implementation of industrial WPP system are given.