

УДК 681.3.021

**В. І. МАЛІНОВСЬКИЙ, В. О БОЙЧУК, І. С. БАЙДАКОВ**

## **ВОЛОКОННО- ОПТИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ В ПРОМИСЛОВИХ МЕРЕЖАХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СУЧАСНИХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

*Вінницький національний технічний університет,  
вул. Хмельницьке шосе, 95, м.Вінниця, Україна*

**Анотація.** Проведена розробка загальної схеми системи передачі промислових сигналів ндля промислових комплексів автоматизації, розроблена волоконно-оптична система для даних комплексів а також проведенна математично-розрахункова частина.

**Анотация.** Проведено разработка общей схемы промышленных комплексов автоматизации, разработанная волоконно оптическая система для данных комплексов а также проведение математически-расчетная часть.

**Abstract.** The development of a general scheme of industrial complexes of automation has been carried out, a fiber-optic system for these complexes has been developed, and a mathematical-calculating part has been carried out.

**Ключові слова:** волоконно-оптичний, SFP модулі, промислові комплекси автоматизації, промислові мережі, промислові інтерфейси.

**DOI:** 10.31649/1681-7893-2019-37-1-123-132

### **ВСТУП**

В сучасних системах автоматизації на промисловому виробництві досить часто виникає завдання передавання вимірювальних параметрів та сигналів телеуправління від об'єкту контролю або керування до основного комп'ютера із програмним забезпеченням та системами SCADA/HMI [1]. Це активно використовується в промислових мережах, таких як ProfiNET. Досить часто дана задача вирішується за допомогою використання волоконно-оптичних інтерфейс-каналів на базі ВОЛС на базі компактних модулів SFP та апаратури волоконно-оптичного зв'язку. Але, також досить часто на виробничих підприємствах в силу умов різної будівельної архітектури виникають випадки коли прокладання волоконних комунікацій не дозволяє отримати необхідних характеристик та є достатньо дорогим і вимагає розробки нових підходів із технічної сторони. Часто таке завдання важко реалізується на практиці в силу різних умов та вимагає застосування нестандартних та інших підходів для ефективного вирішення. В результаті роботи були проаналізовані існуючі волоконно-оптичні технології передачі потоків вимірювальних даних в комплексах автоматизації на невеликих відстанях від 100м до 1км.

Сучасні інформаційні мережі передачі промислових сигналів на базі прогресивних технологій промислового зв'язку, такі як ProfiNet та SmartGrid використовують інформаційні інтерфейс-канали на базі мідної витої пари і оптичного волокна для передачі сигналів керування (телемеханіки) і аналіз від сенсорів і промислової автоматики на промислових об'єктах. В більшості випадків використовуються відомі технології інтерфейсів ProfiBus, ModBus в складі ProfiNet. Із метою підвищення рівня інтелектуалізації та якісних показників процесу передачі на сучасних промислових об'єктах використовуються інтелектуальні рішення і технології гнучкої комутації каналів і пакетів на базі комплексних комутаторів і конвертерів інтерфейсів. В цьому завданні великі можливості і переваги має оптоволоконний кабель. Волоконно-оптичні канали застосовуються переважно у мережах передавання даних. При цьому, за останні декілька років, ВОЛЗ почали застосовувати у локальних системах передачі та інтерфейсах у промисловості, завдяки вищим показникам швидкодії та малому рівню спотворення і

ослаблення оптичних сигналів для значного підвищення пропускної здатності комунікаційних каналів в інформаційних мережах зв'язку. Крім того, у більшості випадків виникають 3 основні проблеми: 1) великі завади та недостатній рівень гальванічної розв'язки входів та виходів кінцевого обладнання; 2) зменшення смуги пропускання при зростанні кількості паралельно підключених промислових пристроїв на спільну шину; 3) неможливість якісної дистанційної передачі автономного гальванічно-розв'язаного живлення малої потужності до віддалених сенсорів і інтерфейсів пристроїв телеуправління та телевимірювань. Це не дозволяє будувати промислові мережі телезв'язку та телеуправління для ефективною передачі промислових сигналів даних, які грають дуже важливу роль на сучасних підприємствах.

Одним із варіантів вирішення даного завдання є використання економічно недорогих відкритих волоконно-оптичних SFP-модулів (або модулів із просадкою) та медіа конвертерів на багатомодовому (MMF) волокні і оптичних ліній на складних ділянках із невисокою швидкістю 0.1-1 Mbps, що є цілком достатньо для передачі параметрів сенсорів та промислових контролерів до центрального модуля управління SCADA. Для вирішення проблеми складності прокладання в умовах складних будівельних конструкцій на промисловому виробництві, у яких необхідно прокладати кабельні комунікації запропоновано нову архітектуру та топологію мережі. Шляхом до вирішення її є використання розподілених ВОЛЗ із  $Y-N$  розгалужувачами відкритих оптичних ліній для передавання службової вимірювальної інформації від об'єкта контролю/керування до основної станції по складним максимально коротким шляхам. Основною вимогою тут є досить висока надійність та стабільність оптичних з'єднань при відносно невисокій затребуваній символічній швидкості передавання даних від 0.1 до 10 Мбіт/с.

В роботі також отримані і розглянуті граничні умови ефективного функціонування оптичних інформаційно-вимірювальних мереж контролю (ОІВМК), які можна виразити умовами (1) і (2). Умова ефективного функціонування ОІВМК в загальному випадку визначається умовами стабільності інформаційного оптичного балансу потужностей в цих мережах. Допустимі межі для комплексного трафіку мережі можна визначити через співвідношення:

$$P_{3AG} \geq \sum_{i=1}^J P_{OD\max} + P_{\text{втр}} + P_{\text{рез}}, \quad (1)$$

де  $P_{3AG}$  - загальна оптична потужність, що надходить у ОІВМК;  $P_{OD\max}$  - значення максимальної оптичної потужності, яку може спожити один споживач;  $P_{\text{втр}}$  - величина всіх оптичних втрат потужності в каналах системи та у її вузлах;  $P_{\text{рез}}$  - значення запасу оптичної потужності, яка зарезервована на майбутніх користувачів та іншого кінцевого обладнання, і визначає ступінь потенційної енергетичної нарощуваності промислової мережі.

Стабільність функціонування ОІВМК по інформаційній складовій сигналу гарантується достатньою величиною пропускної спроможності (трафіку), як всієї мережі в цілому, так і окремих магістральних її ланок. У будь-якому випадку загальна величина пропускної спроможності повинна бути не меншою за суму трафіку кожного з одиничних інформаційно-вимірювальних вузлів.

Для оптичних інформаційно-вимірювальних мереж для промислових комплексів автоматизації, у яких як в якості інформаційних каналів, використовується багатоходові волоконно-оптичні лінії з хвильовим мультиплексуванням WDM та конвергенцією сигналів по основним критерієм стабільної роботи буде умова виконання рівності:

$$S_{qk} \Delta W = \sum_{q=1}^k m \Delta W (1 \leq qk \leq P), \quad (2)$$

де  $\Delta W$  - мінімальний розкид оптичних частот між оптичними каналами  $q$ , при взаємодії яких спостерігається нелінійний ефект чотирьоххвильового змішування (4X3);  $q = 1 \dots P$ , де  $P$  - загальне число усіх каналів у волокні, які мультиплексуються,  $P=N+K$  ( $N$  - кількість інформаційних,  $K$  - кількість енергетичних каналів);  $S_{qk} \Delta W$  - значення розкиду між каналами з оптичними частотами  $f$  ( $f = c/\lambda$ ,  $c$  - швидкість світла в оптичному волокні,  $\lambda$  - довжина хвилі визначеного каналу);  $k$  - кількість груп каналів, при взаємодії яких спостерігається ефект 4X3;  $m$  - ціле число, більше за 1.

Значення розкиду між каналами при оптичному хвильовому мультиплексуванні у волокні повинно бути дещо більшим за значення мінімальний розкиду по оптичним частотам  $\Delta W$ . Завдяки чому можливо досягти мінімального прояву ефекту чотирьоххвильового змішування (4X3) і досягти максимально стабільної передачі. Тому, з врахуванням рівності (2) спектри оптичних каналів повинні оптимально розміщуватися по всій смугі частот мультиплексування  $q = 1 \dots P$ , з врахуванням умови максимальної їх кількості та максимальної величини розкиду оптичних частот  $S_{qk} \Delta W$ .

Організують оптичні канали у вигляді набору довжин хвиль  $\lambda_i$ ,  $i=1..N$  з близько розташованими оптичними спектрами  $\Delta\lambda_i$  та з досить великою величиною густини каналів  $\Gamma\rho$  у поперечному перерізі волокна, для визначення якої можна запропонувати вираз:

$$N\rho = \sum_{i=1}^N \frac{P_{\text{opt.}}\lambda_i}{S_{\text{core}}} = \sum_{i=1}^N \frac{P_{\text{opt.}}\lambda_i}{\pi r_{\text{core}}^2}, - \sum_{i=1}^N \frac{P_{\text{opt.}}\lambda_i}{\pi r_{\text{core}}^2} \quad (3)$$

де  $N\rho_{\text{opt.}\lambda_i}$  – оптична кількість каналів із потужностями  $P_{\text{opt}}$  довжини хвилі  $\lambda_i$ , що відповідає кожному  $i$ -му каналу зв'язку;  $r_{\text{core}}$  – радіус сердечини оптичного волокна;  $S_{\text{core}}$  – площа сердечини оптичного волокна;  $N$  – кількість каналів у оптичному волокні, розташованих на оптичних частотах  $\lambda_i$ ,  $i=1..N$ . Кількість каналів у одному волокні визначається величинами втрат і перехресних взаємодій спектрів оптичних каналів з врахуванням нелінійних ефектів та робочим вікном прозорості  $\Delta\lambda_{\text{проб}}$  оптичного волокна, у якому втрати для цих спектрів оптичних каналів є мінімальними. При використанні таких каналів, інформаційні та енергетичні з довжинами хвиль  $\lambda_i$ ,  $i=1..N$  – для однієї групи інформаційних сигналів та  $\lambda_j$ ,  $j=1..K$  – для другої групи інформаційних сигналів, то сумарна кількість спектрів каналів системи  $S_{\text{sum}}$  із врахуванням фільтрації оптичними фільтрами визначиться як:

$$S_{\text{sum}} = \sum_{i=1}^N \lambda_i + \sum_{j=1}^K \lambda_j - \sum_{j=1}^M \Delta\lambda_j - \sum_{j=1}^M \Delta\lambda_i \quad (4)$$

де  $F_e(\lambda, 0)$  – спектральний потік випромінювання від джерела. Значення залежностей моделі (4) матимуть вигляд:

$$P_{\text{out}}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_{\text{out}}(w) \exp(jwt \tau^i_A) dw = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_{\text{out}}(w) \exp(jwt \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F_e(\lambda_i, 0) \tau_A^i(\lambda_i, l) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F_e(\lambda_i, 0) d\lambda} A) dw \quad (5)$$

Для вирішення задач збільшення стабільності передачі і оптимальності перерозподілу інформаційних потоків сигналів кожен з 2-х типів оптичних спектральних каналів був доданий на системному рівні для досягнення максимальної ефективності і мінімізації похибок передавання.

В роботі авторами розроблено структуру волоконно-оптичної системи для промислових комплексів автоматизації, яка відрізняється від відомих, тим, що використовує підвищену стабільність та є більш економічно дешевою в порівнянні із аналогами на базі електронних та оптоелектронних складових. Це у поєднанні із запропонованими підходом керування та підвищенням оптичної потужності та нової топології дозволяє підвищити стабільність керування та передачі вимірювальних показників до центральних блоків SCADA волоконно-оптичними каналами. на коротких відстанях 0.1-1км.. у висновки

### БАЗОВІ ПРОБЛЕМИ НА АВТОМАТИЗОВАНИХ ОБ'ЄКТАХ КЕРУВАННЯ НА ВИРОБНИЦТВІ

Волоконно-оптичні канали застосовуються переважно у мережах передавання даних. При цьому, за останні декілька років, ВОЛЗ почали застосовувати у локальних системах передачі та інтерфейсах у промисловості, завдяки вищим показникам швидкодії та малому рівню спотворення і ослаблення оптичних сигналів для значного підвищення пропускну здатності комунікаційних каналів в інформаційних мережах зв'язку. Але, крім того, у більшості випадків виникають 3 основні проблеми: 1) великі завади та недостатній рівень гальванічної розв'язки входів та виходів; 2) зменшення смуги пропускання при зростанні кількості паралельно підключених промислових пристроїв на спільну шину; 3) неможливість якісної дистанційної передачі автономного гальванічно-розв'язаного живлення малої потужності до віддалених сенсорів і інтерфейсів пристроїв телеуправління та телевимірювань. Це не дозволяє будувати промислові мережі телезв'язку та телеуправління для ефективною передачі промислових сигналів даних, які грають дуже важливу роль на сучасних підприємствах. Для вирішення даного завдання необхідне збільшення пропускну здатності комунікаційних каналів сучасних оптичних каналів і підвищення якості самих з'єднань в промислових інформаційних мережах, що можна досягти шляхом використання технології волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів та методів підвищення якісних показників передачі даних від промислових систем у них. В результаті

роботи проведений аналітичний огляд методів і засобів передачі інформації у волоконно-оптичних системах згідно актуальному рівню технологій.

В роботі було розглянуто сучасні характеристики різних методів збільшення пропускної здатності і підвищення якісних параметрів у ВОЛЗ-каналах:

- 1) Оптичне спектральне ущільнення каналів(WDM) у поєднанні із часовим ущільненням каналів (TDM & WDM);
- 2) ортогональне оптичне мультиплексування OFDM для використання більшої інформативності та збереженості оптичного імпульсу;
- 3) Використання методів інформативного гнучкого кодування і надлишкового кодування;
- 4) Використання технологій комплексної маніпуляції параметрами амплітуди і тривалості сигналу, а також додавання додаткових інформативних параметрів (таких як поляризація);
- 5) Використання логіко-часового кодування інформації у волоконно-оптичному тракті та ін.

Також було розглянуто варіант симбіозу цих технологій, для використання у сучасних інформаційних промислових мережах, таких як ProfiNet.

Технічні засоби автоматизації і управління є апаратними, програмними і конструктивними засобами і комплексами засобів, орієнтованими на вирішення як типових, так і конкретних завдань і проблем з автоматизації технологічних процесів.

Компоновка технічних засобів автоматизації та керування в агрегатні комплекси технічних засобів виконується згідно міжнародної стандартизації, яку розробляє МЕК (Міжнародна електротехнічна комісія). Від застосованих технічних засобів значною мірою залежить підвищення техніко-економічних показників систем управління технічними процесами і виробництвом в цілому. До цих показників відносять:

- якість управління;
- надійність;
- витрати на проектування;
- безпеку експлуатації;
- можливість адаптації систем управління до властивостей об'єктів технічних процесів у разі зміни останніх;
- умови роботи оператора.

В процесі досліджень розкрито особливості і розроблено підходи, а також вдосконалено метод передавання інформації у волоконно-оптичних середовищах паралельних інтерфейсів. Основні засади методу показані на рис.1.

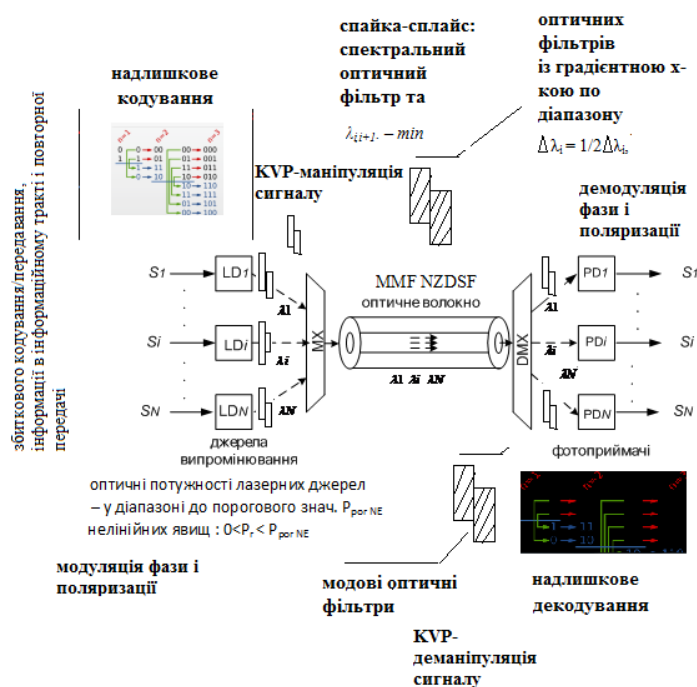


Рис. 1. Базові засади методу передавання інформації по універсальним волоконно-оптичним інтерфейсам

Розглянуто особливості запропонованого метод підвищення якісних показників і розширення смуги пропускання у волоконно-оптичних каналах із застосування ущільнення каналів та комплексних підходів інформаційного кодування при передаванні сигналів даних телеуправління та сенсорної інформації у високошвидкісних паралельних волоконно-оптичних інтерфейсах, який базується на поєднанні технології часового ущільнення TDM та WDM із KVP-перетворенням та кодуванням фаз і поляризацій сигналів на комплексній основі і на базі гнучкого алгоритму KVP-перетворення виступає в даному методі в якості проміжного перетворення сигналу перед кодуванням і подальшим часового TDM та хвильовим WDM ущільнення, що виконується по різним довжинам хвиль.

Це дозволяє орієнтовно отримати часовий вииграш часу латентності імпульсу у сумі із підвищенням інформативності відтворення інформаційного імпульсу, за рахунок паралельності процесу перетворення масиву сигналів в масив ЛЧС меншої розмірності із більшим інформаційним параметрами. Повний часовий вииграш та кількісний вииграш буде оцінено в подальшому

Розгляно комплексне застосування підходів ортогональне частотного розділення каналів з часовим і хвильовим мультиплексуванням із комплексним виконанням інфомраційних перетворень.

### ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ТЕХНІЧНИХ ОПТИЧНИХ ЗАСОБІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ У ЛАНКАХ АСУ ТП

Від правильної постановки вимог до технічних засобів і від міри їх задоволення багато в чому залежить успіх автоматизації управління.

Постановка вимог до технічних засобів АСУ ТП вимагає знання, окрім процесу, що автоматизується, обладнання, теорії управління, теорії автоматичного управління, у тому числі організації, інформації, програмування, технологічної автоматика. Необхідність знань в такому широкому діапазоні областей науки і техніки є основною перешкодою для фахівця, який розробляє вимоги до технічних методів АСУ ТП.

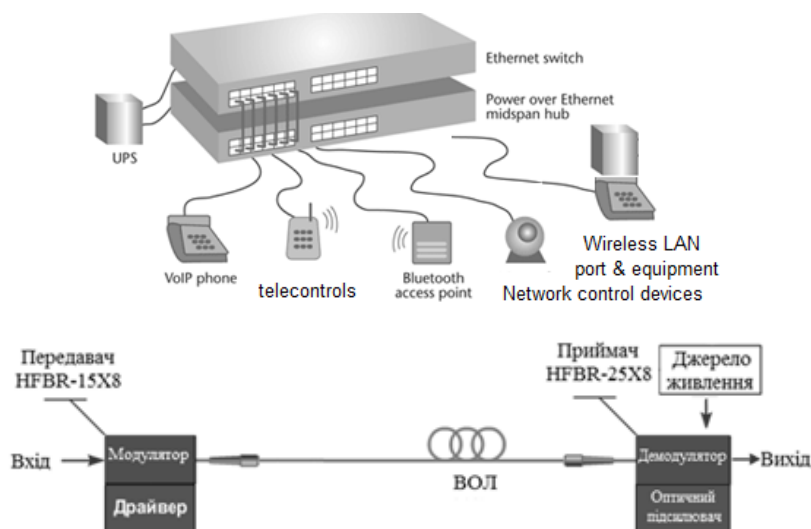


Рис. 2. Узагальнена схема комутатора із оптичними портами та можливістю підключення промислових інтерфейсів Profibus та ModBus для організації промислової мережі (наприклад ProfiNET)

Складність задоволення вимог до технічних засобів викликана як відсутністю обладнання з відповідними характеристиками, так і необхідністю компоновки комплексів з окремих засобів.

Для зручності розгляду технічні вимоги розділяють на п'ять груп:

- інформаційні;
- організаційні;
- математичні;
- технічні;
- економічні.

Усі вимоги так чи інакше спрямовані на забезпечення сумісності об'єкту автоматизації (верстату, цеху або підприємства в цілому), технічних засобів і людей.

Групи інформаційних і математичних вимог спрямовано на забезпечення сумісності між технічними засобами, а також технічними засобами і персоналом.

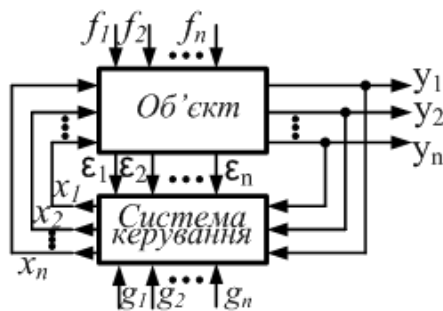
Групи організаційних і економічних повинні забезпечувати сумісність комплексу технічних засобів з об'єктом.

Група технічних вимог направлена на задоволення усіх трьох видів сумісності.

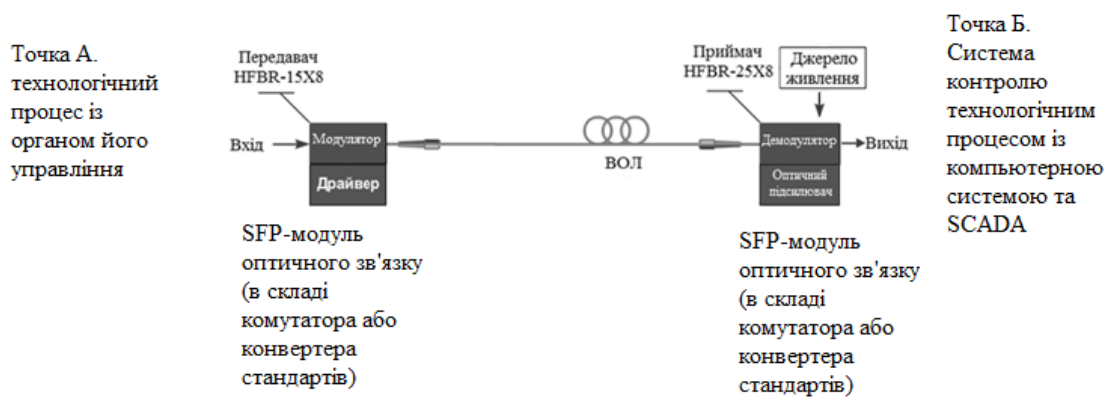
### СТРУКТУРА СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІІІ ДЛЯ ЗАВДАНЬ У ПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

При розробці систем автоматизації в першу чергу необхідно з'ясувати, з яких місць ті або інші ділянки об'єкту управляються, де розміщені пункти управління, операторські приміщення і який взаємозв'язок між ними, тобто необхідно встановити, яка структура управління об'єктом.

У найзагальнішому вигляді структурна схема системи автоматизації представлена на рис. 1. Система автоматизації складається з об'єкту автоматизації і системи управління цим об'єктом. Завдяки певній взаємодії між об'єктом автоматизації і системою управління система автоматизації в цілому забезпечує необхідний результат функціонування об'єкту, що характеризується параметрами  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ . Ці параметри називають *вихідними* параметрами об'єкта автоматизації.



а)



б)

Рис. 3. Структурна схема системи автоматизації та інтерфейсу

До цих параметрів можна віднести як величини, що визначають, наприклад, доцільний кінцевий продукт технологічного процесу, так і окремі параметри, що визначають хід технологічного процесу, його економічність, безаварійну роботу тощо.

Окрім цих основних параметрів, робота об'єктів автоматизації характеризується рядом допоміжних параметрів ( $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_N$ ). Які також повинні контролюватися і регулюватися, наприклад підтримуватися постійними. До такого роду параметрів можна віднести, зокрема, величини, що визначають роботу установок підготовки технологічного повітря, технологічної пари насосних станцій оборотного водопостачання тощо.

Від цих установок потрібна тільки подача на вхід технологічної установки початкової сировини і енергоносіїв із заданими параметрами. При цьому необхідне дозування подачі сировини і енергоносіїв здійснюється засобами управління, що відносяться до технологічної установки.

В загальному випадку запропонована в роботі схема промислового комплексу автоматизації буде представлена графічно на рисунку 2.

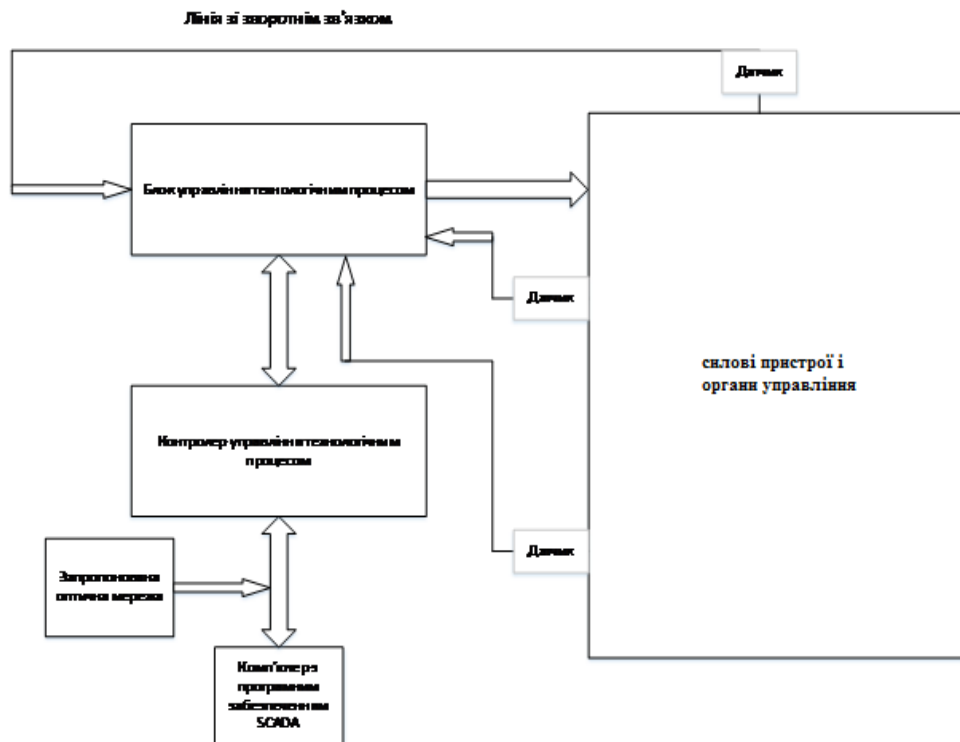


Рис. 4. Запропонована схема промислового комплексу автоматизації із оптичними інтерфейсами

В процесі роботи на об'єкт поступають збурюючі дії  $F_1, F_2, \dots, F_n$ , що викликають відхилення параметрів  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  від їх оптимальних значень. Ці дії на об'єкті автоматизації, які є непередбачуваними називають *збуренням*.

Інформація про поточні значення  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N$  поступає в систему управління і порівнюється з їх заданими значеннями  $G_1, G_2, G_n$ . Внаслідок чого система управління здійснює керуючий вплив  $X_1, X_2, \dots, X_n$  на об'єкт, направлений на компенсацію відхилення вихідних параметрів від їх оптимальних значень. Цей керуючий вплив на об'єкт називають *Вхідними* параметрами об'єкта автоматизації.

Таким чином, об'єкт автоматизації в загальному випадку складається з декількох більшою чи меншою мірою зв'язаних один з одним ділянок управління. Останні фізично можуть представлятися у вигляді окремих установок, агрегатів і так далі або у вигляді локальних каналів управління окремими параметрами одних і тих же установок, агрегатів тощо.

У свою чергу система управління залежно від важливості регульованих параметрів, кола інтересів експлуатаційного персоналу, якому важливо знати їх значення для здійснення оптимального управління об'єктом, в загальному випадку повинна забезпечувати різні рівні управління об'єктом автоматизації, тобто повинна включати декілька пунктів управління, в тому або іншому ступені взаємозв'язаних один з одним.

Як було викладено вище об'єкти автоматизації характеризуються вихідними, вхідними параметрами та збуреннями. Для того щоб врахувати дію цих параметрів на об'єкті автоматизації розробляється структурна схема. Перед виконанням структурної схеми потрібно знати призначення об'єкта автоматизації та його технологічну роботу.

Об'єкт автоматизації на схемі показують в вигляді прямокутника. Параметри об'єкта позначають літерами.

Всі параметри зображують стрілками і розміщують вихідні параметри  $Y$  праворуч, а вхідні  $X$  – ліворуч від об'єкта автоматизації, збурення  $F$  – Зверху. Біля стрілок позначають фізичну, механічну, енергетичну, електричну величини відповідними літерами. Під схемою проставляються всі позначення з їх розшифровкою. Основними блоками зв'язку є контролер і комп'ютер, тому волоконна оптична система довжиною від 0,1...1 км буду знаходитись між цими 2-ма ключовими точками.



Контролер управління технологічним процесом отримує дані з блоку управління технологічним процесом, який в свою чергу отримує дані з датчиків силових пристроїв (двигуни, турбіни, системи вентиляції, конвеєрів та ін.).

### РОЗРОБКА ВОЛОКОННО ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Як видно вище, з запропонованої структурної схеми комплексу автоматизації, основними блоками зв'язку є контролер управління технологічним процесом і комп'ютер оператора з програмним забезпеченням. Потрібно забезпечити як якісний прийом сигналу в сам комп'ютер, так і передачу сигналу від оператора до автоматизованого управлінського процесу на контролер.

Один з головних моментів полягає в тому що в запропонованій системі буде використовуватись багатомодове волокно, тому усі модулі, кабелі і плати мають бути спеціально орієнтовані на роботу з багатоходовим волокном. Дана схема буде представлена в додатку В і графічно зображена на рис.3.

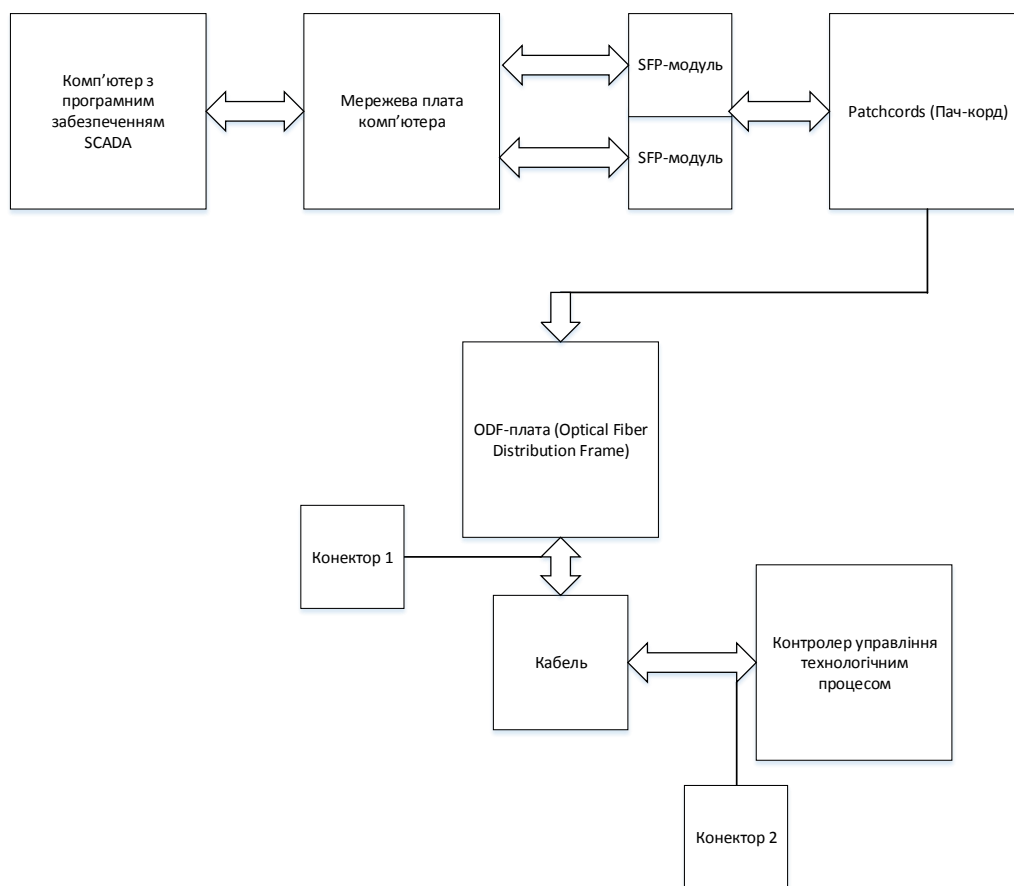


Рис.5. Розроблена волоконно оптична система для промислових комплексів автоматизації

Якщо аналізувати лінію передачі інформації від контролера до оператора то зрозуміло що комп'ютер отримує декодований цифровий сигнал з даними роботи самого комплексу. Але процесом керує сам оператор по отриманим даним, тому комп'ютер має передавати дані на контролер. Для того щоб оператор зміг передати мережеві дані, потрібно використати спеціальні модулі, які будуть конвертувати сигнал мережевих пристроїв в світлові потоки. В даній роботі пропонується використовувати SFP-модулі, які є дуже високотехнологічними при конвертуванні сигналу, і не мають не дуже дорогої вартість (повний аналіз системи на основі SFP-модулів дивитись у розділі 3). SFP-модулі мають два входи, один для керуючого пристрою, а другий для з'єднання з оптичним волокном. Такий модуль можна з'єднати з комп'ютером за допомогою спеціального кабелю, або мережевою плати. Наступний елемент системи це ODF плата. ODF-панель (OFDF, аббревіатура з англ. Optical Fiber Distribution Frame - рамка оптичного розподілу) - плата для розподілу оптичних волокон. Використовується для розподілу оптичних волокон кабелю з метою подальшої зручності їх комутації. Останім елементам буде патч корд, який буде з'єднувати модулі з ODF платою. В загальному вигляді система матиме такий вигляд: в



комп'ютер буде вставлятись мережева плата, до якої будуть підключатись модулі, другий кінець модуля буде підключатись до патч корда, який в свою чергу буде з'єднуватись з ODF платою. І в кінці потрібно буде з'єднати початок і кінець кабелю конекторами.

## ВИСНОВКИ

В статті було розглянуто проблему організації ефективної і економічно дешевої передачі даних від сенсорів до контролерів і ПК по волоконно-оптичній системі, яка має місце у промислових комплексах автоматизації сучасних виробничих підприємств. Також були описані основні проблеми як самих промислових комплексів, їх технічні засоби і загальні вимоги так і вирішення цих проблем за допомогою волоконно оптичних систем. Були приведена основна математична модель такої системи, її обрахунки та знаходження основних параметрів необхідних для покращення роботи комплексів.

Розглянуто комплексне застосування підходів ортогональне частотного розділення каналів з часовим і хвильовим мультиплексуванням із комплексним виконанням інформоаційних перетворень.

Проведений аналіз і розробленні початкові положення дали змогу оцінити сучасний етап області волоконно-оптичних технологій та промислових компонентів ВОЛЗ і можливості їх перспективного використання в промислових мережах ProfiNet. Це є особливо актуальним для практичних задач розрахунку і проектування оптичних мереж передачі даних. Були проаналізовані основні типи оптичних волокон та вибраний оптимальний тип для данної системи. Така модель і структура системи дає значне покращення якості передачі сигналу, конвергентності каналів та значне зниження вартості самої системи та є актуальною і конкурентоздатною для промислових комплексах автоматизації сучасних виробничих підприємств.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Lach E. Modulation formats for 100G and beyond / E. Lach, W. Idler // Optical Fiber Technology, 2011 – Vol. 17. – pp. 377–386.
2. Shah Y.K. Formation and Design Considerations of Grid Architecture / Y.K.Shah et. al.// Int. J Comp Sci. Emerging Tech, 2014. – Vol. 5, No. 4. – pp. 169-176.
3. Worldwide LHC Computing Grid [Електронный ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступа: <http://wlcg.web.cern.ch> (дата обращения 30.11.2016) – Название с экрана.
4. Убайдулаев Р. Р. Волоконно-оптические сети [Текст] / Р. Р. Убайдуллаев. – М.: Эко-Тренз, 1998. – 268 с.
5. Shah Y.K. Formation and Design Considerations of Grid Architecture / Y.K.Shah et. al.// Int. J Comp Sci. Emerging Tech, 2014. – Vol. 5, No. 4. – pp. 169-176.
6. В.П. Кожем'яко, О.Г. Домбровський, І.Д. Івасюк, О.В. Шевченко, С.В. Дусанюк, С.С. Білан, А.В. Кожем'яко. Оптико-електронна геоінформаційна система тотального тестування і оптимального управління науково-освітніями і бібліотечними ресурсами для створення і розвитку централізованої бази знань // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології.-2005.- №1(9), с. 5-10.
7. В.П. Кожем'яко, Маліновський В.І. Структурна організація каналів для повністю оптичних інформаційно-енергетичних мереж // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.- 2007.-№2, С.37-42.
8. Кожем'яко В. П., Білан С.С., Кожем'яко О. В., Кожем'яко А. В. Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система, як глобальний засіб гармонійного вирішення проблем розвитку цивілізації // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології.- 2004.-№2(8), С.5-10.
9. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб: Издательство “Питер”, 1999. – 672с.
10. Коноплянский Д.К. PLC - передача данных по электрическим сетям. Последняя миля // Вестник связи.- 2004- № 5, С. 5-7.
11. Кожем'яко В. П., Маліновський В.І., Кобзаренко Р.Л. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні системи із застосуванням альтернативних джерел світлового випромінювання // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. - 2006. - №1(11) – С.228-233.
12. Кожем'яко В.П., Маліновський В.І. Принципи побудови та структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж // Вісник ВПІ.-2008.-№1-С.95-101.
13. Кулик Т.К., Прохоров Д. В. Методика сравнительной оценки работоспособности лазерных линий связи.// Технология и средства связи.- 2000.- №6, с.8-10.
14. Клоков А.В. Беспроводная оптическая связь – Мифы и реальность. Технология и средства связи, 2000, №6, с. 12-16.

15. Кожем'яко В.П., Маліновський В.І. Структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – №2. – С. 42-44.
16. В.П.Кожем'яко, О.Г. Домбровський, І.Д. Івасюк, О.В. Шевченко, С.В. Дусанюк, С.С. Білан, А.В. Кожем'яко. Оптико–електронна геоінформаційно–енергетична система тотального тестування і оптимального управління науково–освітнянськими і бібліотечними ресурсами для створення і розвитку централізованої бази знань // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології.- 2006.-№1(9),С. 5-11.
17. О.Н. Крохин. Передача электрической энергии посредством лазерного излучения // Успехи физических наук.-2006.-№4,Т.176, С441-444.
18. Matthew Heino, Robert Saethre. Photonic power delivery through optical fiber using very high power laser diode arrays // SPIE Optics, Electro-optics & Laser Conference, Los Angeles CA, Jan.24-28, 2007; Laser Power Beaming , SPIE Proceedings Vol.2121, 252-255.
19. А.Н.Качемцев, В.К.Киселев, Г.Н.Семьин, А.Н.Труфанов. Гибридная оптическая система питания электронных устройств / Труды второго совещания по проекту НАТО SfP-973799 Semiconductors.Нижний Новгород, 2002, С.165-170.
20. Е.М.Дианов. На пороге Тера-эры // Квантовая электроника.-2000.- №8(30), С.659-663.
21. Дж.Гауер Оптические системы связи: Пер. с англ.-М.: Радио и связь, 1989.-504с.
22. М.П.Петров. Световолокна для оптических линий связи. Часть 2 // Соросовский образовательный журнал.-1997.-№12,С.100-105.
23. Dashkov M.V. The application of different fiber types -in optical multiplexing systems / Optoelectronic Information-Energy Technologies, 24-26April,2001VSTU,p.185.

Надійшла до редакції 10.03.2019

**МАЛІНОВСКИЙ В. І.** – доцент, к.т.н. кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, Україна.

**БОЙЧУК В. О.** . – магістрант кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, Україна.

**БАЙДАКОВ І. С.** – студент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, Україна.