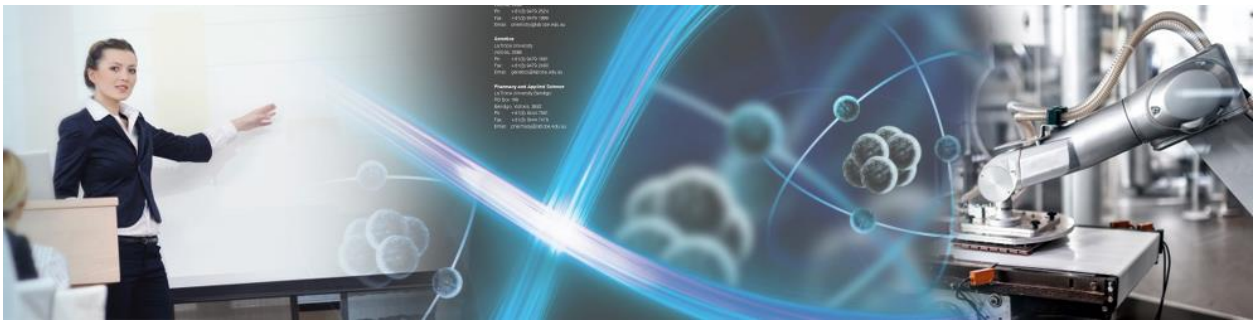
Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки

V Міжнародна Конференція
ВИРОБНИЦТВО
&
МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ 2021



V International Conference
MANUFACTURING
&
MECHATRONIC SYSTEMS 2021

M&MS

2021

V International Conference

21-22 October

Kharkiv

УДК: 005:004.896:62-65:338.3

Виробництво & Мехатронні Системи 2021: матеріали V-ої Міжнародної конференції, Харків, 21-22 жовтня 2021 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)].-Харків: [електронний друк], 2021. – 180 с.

У збірник включені тези доповідей, які присвячені сучасним тенденціям розвитку технологій та засобів виробництва та мехатронних систем, передовому досвіду та впровадженню їх в галузях систем промислової автоматизації та керування виробництвом; системній інженерії; CAD/CAM/CAE системах; мехатроніці (електро-механічних системах, електронних інструментах систем керування, механічних CAD системах); робототехніці та засобахм інтелектуалізації; MEMS (сучасних матеріалів та технологіях виготовлення MEMS) та компонентах і технологіях автоматизації видобутку, переробки та транспортування нафти та газу.

Редакційна колегія: І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв, І.М. Бабак

Manufacturing & Mechatronic Systems 2021: Proceedings of Vst International Conference, Kharkiv, October 21-22, 2021: Thesises of Reports / [Ed. I.Sh. Nevlyudov (chief editor).] .- Kharkiv .: [electronic version], 2021. – 180 p.

The collection includes the thesises of reports on modern trends in the development of technologies and means of production and mechatronic systems, top experience and implementation of them in fields of: industrial automation and production management systems; systems engineering; CAD/CAM/CAE systems; mechatronics (electrical and mechanical systems, electronic control tools, mechanical CAD systems); robotics and intellectual toolls; MEMS (modern materials and manufacturing technologies MEMS) and components and technologies for the automation of oil, gas and oil extraction, processing and transportation.

Editorial board: Igor.Sh. Nevludov, Vladyslav.V. Yevsieiev, I. Babak

© Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ), ХНУРЕ,2021

Міністерство освіти і науки України (МОНУ)
Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ)
Варшавський університет сільського господарства (WULS - SGGW)
Азербайджанський державний університет нафти і промисловості
Національний університет «Львівська політехніка»
Festo Didactic Україна
Jabil Circuit Ukraine Limited
ТОВ «Науково-виробниче підприємство «УКРІНТЕХ»»
Факультет автоматики і комп'ютеризованих технологій (АКТ)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ),
Державне підприємство «Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування»
Державне підприємство «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості»

МАТЕРІАЛИ

V-ої Міжнародної Конференції

ВИРОБНИЦТВО
&
МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ 2021

(21-22 жовтня 2021)
Харків, Україна

Промислові інтерфейси та протоколи передачі даних інтегрованих систем для автоматизованого управління в умовах Industry 4.0

Анастасія Гіль[1], Олена Чала[1], Олександр Филипенко[2]

1. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: anastasiia.lezhenina@nure.ua
2. Деканат факультету АКТ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр.Науки 14., email: oleksandr.filipenko@nure.ua

Анотація: В роботі проведено дослідження промислових інтерфейсів зв'язку, основних топологій та принципи побудови промислових мереж, рівні інтеграції промислових інтерфейсів, що додільно використовувати у складі систем автоматизованого управління. Досліджено моделі OSI і протоколи обміну, виділено їх переваги та недоліки.

***Ключові слова*:** Автоматизовані системи управління, промислові інтерфейси зв'язку, промислові протоколи обміну, модель OSI, Modbus.

I. Вступ

Процес автоматизації промислових виробництв розвивається все більше, також невпинно збільшується кількість «інтелектуальних» кінцевих пристроїв, зростає число залучених в процеси контролю та управління технологічним процесом обчислювальних систем на базі мікроконтролерів. У цих умовах істотно зростає роль даних, зібраних на всіх рівнях АСУ ТП (автоматизованих систем управління технологічними процесами).

Вимоги, що пред'являються з боку споживачів, все більше спрямовуються на підвищення: обсягу, швидкості і надійності отримання даних, тому питання забезпечення комунікацій стають високо пріоритетними [1-5].

Зазвичай, системи обміну даними будувалися за традиційною централізованою схемою, в якій був один потужний обчислювальний пристрій і величезна кількість кабелів, за допомогою яких здійснювалося підключення кінцевих пристроїв (давачів і виконавчих механізмів). Така структура диктувалася високою ціною та відносно низьким рівнем автоматизації виробництва.

На сьогоднішній день, в умовах концепції Industry 4.0, у цього підходу практично не залишилося прихильників. Такі недоліки централізованих АСУ ТП, як великі витрати на кабельну мережу і допоміжне обладнання, складний монтаж, низька надійність і складна ре-конфігурація, зробили їх у багатьох випадках абсолютно неприйнятними як економічно, так і технологічно.

В умовах бурхливо зростаючого виробництва мікропроцесорних пристроїв альтернативним рішенням стали цифрові промислові мережі (ЦПС), що побудовані на основі багатьох складових, обмін між якими проводиться цифровим способом [5-11].

II. Аналіз промислових інтерфейсів та протоколів зв'язку

Промисловою мережею називають комплекс обладнання і програмного забезпечення, які забезпечують обмін інформацією між декількома пристроями. Промислова мережа є основою для побудови розподілених систем збору даних і управління.

Оскільки в промисловій автоматизації мережеві інтерфейси можуть бути невід'ємною частиною пристроїв, а мережеве програмне забезпечення прикладного рівня моделі OSI виповнюється на основному процесорі промислового контролера, то відокремити мережеву частину від пристроїв, що об'єднуються в мережу, іноді фізично неможливо.

З іншого боку, зміну однієї мережі на іншу часто можна виконати за допомогою заміни електричного кабелю, програмного забезпечення, мережевого адаптера або введенням до топології схеми перетворювача інтерфейсу, тому часто один і той же тип ПЛК може використовуватися в мережах різних типів.

З'єднання промислової мережі з її компонентами виконується за допомогою інтерфейсів. Мережевим інтерфейсом називають логічну або фізичну межу між пристроєм і середовищем передачі інформації. Зазвичай цією межею є набір електронних компонентів і пов'язаного з ними програмного забезпечення. При істотних модифікаціях внутрішньої структури пристрою або програмного забезпечення інтерфейс залишається без змін, що є одним з ознак, що дозволяють виділити інтерфейс в складі обладнання.

Найбільш важливими параметрами інтерфейсу є пропускна здатність і максимальна довжина кабелю, що підключається. Промислові інтерфейси зазвичай забезпечують гальванічну розв'язку між сполучаються пристроями. Найбільш поширені в промислової автоматизації послідовні інтерфейси RS-485, RS-232, RS-422, Ethernet, CAN, HART, AS-інтерфейс.

Для обміну інформацією взаємодіючі пристрої повинні мати однаковий протокол обміну. У простій формі протокол - це набір правил, які керують обміном інформацією. Він визначає синтаксис і семантику повідомлень, операції управління, синхронізацію і стану

при комунікації. Протокол може бути реалізований апаратно, програмно або програмно-апаратний.

Зазвичай мережа використовує кілька протоколів, що утворюють стек протоколів - набір пов'язаних комунікаційних протоколів, які функціонують спільно і використовують деякі або всі сім рівнів моделі OSI. Для більшості мереж стек протоколів реалізований за допомогою спеціалізованих мережевих мікросхем або вбудований в мікропроцесор [11].

Взаємодія пристроїв в промислових мережах виконується відповідно до моделей клієнт-сервер. Мережа може містити кілька серверів і кілька клієнтів. Кожен клієнт може посилати запити більш ніж одного сервера, кожен сервер може відповідати на запити декількох клієнтів. Ця модель зручна для передачі даних, які з'являються періодично або в заздалегідь певний час, як, наприклад, значення температури в періодичному технологічному процес. Промислові мережі від наділені:

— спеціальним конструктивним виконанням, що забезпечує захист від пилу, вологи, вібрації, ударів;

— широким температурним;

— підвищеною міцністю кабелю, ізоляції, роз'ємів, елементів кріплення;

— підвищеною стійкістю до дії електромагнітних променів;

— можливістю резервування для підвищення надійності;надійністю передачі даних;

— можливістю самовідновлення після збою;

— детермінованістю часу доставки повідомлень;

— можливістю роботи в реальному часі (з малої, постійної і відомою величиною затримки);

— роботою з довгими лініями зв'язку (від сотень метрів до кількох кілометрів).

Промислові мережі не виходять за межі одного підприємства. Однак, з появою Ethernet і Internet стали застосовувати класифікацію::

— LAN (Local Area Network) - мережі, розташовані на обмеженій території (в цеху, офісі, в межах заводу);

— MAN (Metropolitan Area Networks) - мережі міст;

— WAN (Wide Area Network) - глобальна мережа, що охоплює кілька міст або континентів. Зазвичай для цього використовують Internet-технологію.

В даний час налічується більше 50 типів промислових мереж (Modbus, Profibus, DeviceNet, CANopen, LonWorks, ControlNet, SDS, Seriplex, ArcNet, ASI, Ethernet, Fieldbus, Interbus, BitBus і ін.). Широко поширеними є тільки частина з них. У Європі переважна більшість АСУ ТП використовують мережі Modbus і Profibus. В останні роки зріс інтерес до мереж на основі CANopen і DeviceNet.

Оскільки основною функцією мережі є з'єднання між собою різного устаткування, проблема відкритості, зокрема, стандартизації, для мереж набуває особливого значення. У зв'язку з цим на початку 80-х років міжнародна організація по стандартизації ISO (International Standardization Organization) спільно з рядом інших організацій була сформульована і прийнята модель взаємодії відкритих систем OSI (Open System Interconnection) [4, 8, 12-15].

Такий підхід забезпечив можливість вирішення завдання взаємодії систем для кожного рівня окремо. Зокрема, для мережевої взаємодії пристроїв: електричні рівні сигналів, затримки і тривалості імпульсів, типи з'єднувачів, способи кодування, способи забезпечення достовірності передачі, формати адресації, даних, поділу даних на пакети і відновлення цілісності повідомлень. Модель OSI має сім рівнів:

1. Фізичний рівень: відбувається передача даних по таких лініях зв'язку, як кручена пара, коаксіальний кабель, оптоволоконний кабель або радіоканал. Основна функція фізичного рівня прийом і передача інформації, логічного нуля або одиниці;

2. Канальний рівень, функція якого розподілення даних на кадри, виявлення і корекції помилок за допомогою контрольної суми, що поміщається в початок або кінець кожного кадру.

3. Мережевий рівень, основною задачею є визначення маршрутів пересилки пакетів від джерела до приймача повідомлень. Маршрути можуть бути жорстко задані або змінюватися динамічно в залежності від поточної завантаженості мережі.

4. Транспортний рівень, забезпечує доставку повідомлень з заданим рівнем надійності, виконується розбивка повідомлень на пакети, їх нумерація, буферизація, упорядкування управління потоками.

5. Сеансовий рівень керує сеансом зв'язку, відстежує черговість передачі повідомлень учасниками мережі, вставляє мітки в довгі повідомлення, щоб в разі втрати зв'язку виконає повторну передачу тільки загубленої частини повідомлення, встановлює спосіб обміну.

6. Рівень представлення оперує з формою подання переданої по мережі інформації, не змінюючи її змісту. На цьому рівні може здаватися тип кодування символів (ASCII або ANSI), змінюватися синтаксис переданих повідомлень, тип шифрування і дешифрування даних для забезпечення їх секретності.

7. Прикладний рівень це набір протоколів, за допомогою яких здійснюється доступ до даних в мережі.

Інтерфейси RS-485 і RS-422 описані в стандартах ANSI EIA/TIA *-485-A і EIA/TIA-422. Інтерфейс RS-485 є найбільш затребуваним в промисловій автоматизації. Його використовують промислові мережі Modbus, Profibus, BitBus, WorldFip, Interbus і безліч нестандартних мереж. За всіма основними показниками даний інтерфейс є найкращим з усіх можливих при сучасному рівні розвитку технології. Основними його перевагами є:

— двосторонній обмін даними;

— робота з декількома трансиверами, підключеними до однієї і тієї ж лінії;

— велика довжина лінії зв'язку;

— висока швидкість передачі.

В основі побудови інтерфейсу RS-485 лежить диференційний спосіб передачі сигналу, коли напруга, що відповідає рівню логічної одиниці або нуля, відраховується не від «землі», а вимірюється як різниця потенціалів між двома передавальними лініями: Data + і Data- . При цьому напруга кожної лінії щодо «землі» може

бути довільним, але не повинно виходити за діапазон -7 ... + 12 В.

Топологія мереж на основі інтерфейсу RS-485 визначається необхідністю усунення відображень в лінії передачі. Оскільки відображення відбуваються від будь-якої неоднорідності, в тому числі відгалужень від лінії, то єдино правильною топологією мережі буде така, яка виглядає як єдина лінія без відводів, до якої не більше ніж в 32 точках підключені пристрої з інтерфейсом RS-485. Будь-які варіанти, в яких лінія має довгі відводи або з'єднання декількох кабелів в одній точці, призводять до віддзеркалень і зниження якості передачі.

Якщо існує необхідність розгалуження лінії, то це виконується за допомогою повторювачів інтерфейсу або концентратора (хаба). Повторювачі дозволяють розділити лінію на сегменти, в кожному з яких виконуються умови узгодження з допомогою двох термінальних резисторів і не виникають ефекти, пов'язані з відбиттям сигналу від кінців лінії. Для узгодження лінії використовують термінальні (кінцеві) резистори, на рис. 1 представлена топологія схеми з термінальними резисторами.

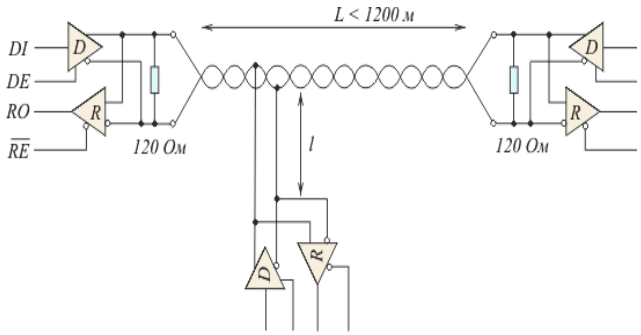


Рис. 1. Топологія мережі на базі інтерфейсу RS485

Величину резистора вибирають в залежності від хвильового опору використовуваного кабелю. Для систем промислової автоматики використовуються кабелі з хвильовим опором від 100 до 150 Ом (формула 1), однак кабелі, спроектовані спеціально для інтерфейсу RS-485, мають хвильовий опір 120 Ом. На таке ж опір зазвичай розраховані мікросхеми трансиверів інтерфейсу RS-485. Тому опір термінального резистора вибирається рівним 120 Ом з потужністю - 0,25 Вт.

При розрахунку опору узгоджувального резистора потрібно враховувати загальний опір всіх навантажень на кінці лінії. Наприклад, якщо до кінця лінії підключений шафа комплектної автоматики, в якому розташовані 30 модулів з портом RS-485, кожен з яких має вхідний опір 12 кОм, то загальний опір всіх модулів дорівнюватиме 12 кОм / 30 = 400 Ом. Тому для отримання опору навантаження лінії 120 Ом опір термінального резистора має дорівнювати 171 Ом.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}}. \quad (1)$$

де R_0 – опір;

L_0 – індуктивність;

G_0 – провідність;

C_0 – ємність кабелю;

$j\omega$ – комплексна кругова частота.

Але при використанні узгоджувальних резисторів є один важливий недолік. При довжині кабелю 1 км його омічний опір складе 97 Ом. При наявності узгоджувального резистора 120 Ом утворюється резистивний дільник, який приблизно в 2 рази послаблює сигнал, і погіршує відношення сигнал / шум на вході приймача.

Протокол Modbus і мережа Modbus є найпоширенішою в світі. Незважаючи на свій вік, Modbus не тільки не застарів, але, навпаки, істотно зросла кількість нових розробок і обсяг організаційної підтримки цього протоколу. Однією з переваг Modbus є відсутність необхідності в спеціальних інтерфейсних мікросхемах, на відміну від Profibus і CAN, простота програмної реалізації і елегантність принципів функціонування. Все це знижує витрати на освоєння стандарту як системними інтеграторами, так і розробниками обладнання.

Протокол Modbus має два режими передачі: RTU (Remote Terminal Unit - «віддалене термінальне пристрій») і ASCII. Стандарт передбачає, що режим RTU в протоколі Modbus повинен бути присутнім обов'язково, а режим ASCII є опціонним. Користувач може вибирати будь-який з них, але всі модулі, включені в мережу Modbus, повинні мати один і той же режим передачі.

Стандарт Modbus передбачає застосування фізичного інтерфейсу RS-485, RS-422 або RS-232. Найбільш поширеним для організації промислової мережі є 2-провідний інтерфейс RS-485. Для з'єднань точка-точка може бути використаний інтерфейс RS-232 або RS-422 [2].

Модель OSI протоколу Modbus містить три рівні: фізичний, канальний і прикладної. Протокол Modbus передбачає, що тільки одне провідне пристрій (контролер) і до 247 ведених (модулів введення-виведення) можуть бути об'єднані в промислову мережу. Обмін даними завжди ініціюється провідним. Ведені пристрої ніколи не починають передачу даних, поки не отримають запит від ведучого. Ведені пристрої також не можуть обмінюватися даними один з одним. Тому в будь-який момент часу в мережі Modbus може відбуватися тільки один акт обміну.

Адреси з 1 по 247 є адресами Modbus пристроїв в мережі, а з 248 по 255 зарезервовані. Провідний пристрій не повинен мати адреси і в мережі не повинно бути двох пристроїв з однаковими адресами. Провідний пристрій може посилати запити всіх пристроїв одночасно ("широкомовний режим") або тільки одному. Для широкомовного режиму зарезервований адресу "0" при використанні в команді цієї адреси вона приймається всіма пристроями.

У протоколі Modbus RTU повідомлення починає сприйматися як нове після паузи (тиші) на шині тривалістю не менше 3,5 символів (14 біт). Формат кадру стандартизований і містить чотири поля:

1. Поле «Адреса» завжди містить тільки адресу відомого пристрою, навіть у відповідях на команду, надіслану провідним.

2. Поле «Код функції» говорить модулю про те, яку дію потрібно виконати.

3. Поле «Дані» може містити довільну кількість байт. У ньому може міститися інформація про параметри, які використовуються в запитах контролера або відповідях модуля.

4. Поле «Контрольна сума» містить контрольну суму CRC довжиною 2 байта.

III. Висновки

В роботі було досліджено типи промислових інтерфейсів зв'язку, їх основні переваги та недоліки, за основу взято інтерфейс RS485. Досліджено топології та принципи побудови промислових мереж, отримані залежності для розрахунку термінальних пристроїв. Досліджено модель OSI та протокол обміну Modbus, який доцільно використовувати з моделями та інтерфейсом обміну RS485 в коппютерно-інтегрованих системах для автоматизованого управління в умовах Industry 4.0

Перелік посилань

[1] Yevsieiev V. (2018), "Visual objects interaction mathematical presentation to solve the problem of software design automation for computer information systems of technological production preparation", *Zbirnyk Naukovykh prats Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seriia: "Obchysliuvalna tekhnika ta avtomatyzatsiia"*, No. 1 (31), P. 24–31. DOI: 10.31474/2075-4272-2018-1-31-24-31

[2] Sony, M., Naik, S. (2019), "Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review", Benchmarking: An International Journal, Vol. 27, No. 7, P. 2213–2232.

[3] Osadchy, S., Demska, N., Oleksandrov, Y. and Nevliudova, V. (2021) "RESEARCH OF DIKW AND 5C ARCHITECTURAL MODELS FOR CREATION OF CYBER-PHYSICAL PRODUCTION SYSTEMS WITHIN THE CONCEPT OF INDUSTRY 4.0", INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC SOLUTIONS FOR INDUSTRIES, (1 (15), pp. 132-140. doi: 10.30837/ITSSI.2021.15.132.

[4] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Demska, N. and Novoselov, S. (2020) "DEVELOPMENT OF A SOFTWARE MODULE FOR OPERATIONAL DISPATCH CONTROL OF PRODUCTION BASED ON CYBER-PHYSICAL CONTROL SYSTEMS", INNOVATIVE TECHNOLOGIES ANDSCIENTIFIC SOLUTIONS FOR INDUSTRIES, (4 (14), pp. 155 168. doi: 10.30837/ITSSI.2020.14.155.

[5] Oztemel, E., Gursev, S. (2020), "Literature review of Industry 4.0 and related technologies", Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 1(1), P. 127–182.

[6] O. Filipenko, O. Chala and O. Sychova, "Some Issues of Dependencies of Loss from Technological Features of Optical Switches for Communication Systems," 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 2018, pp. 599-603, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632051.

[7] Левченко Є. О. Machine-to-mobile (M2M) в автотранспортних мережах / Є. О. Левченко, О. О. Чала // Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій : матеріали XXXI Всеукраїнск. наук.–техн. конф. молодих вчених, аспірантів та студентів, 22–23 квітня 2021 р. – Одеса, 2021. – С. 162–163.

[8] Невлюдов І.Ш., Филипенко О.І., Чала О.О., Боцман І.В. Метод контролю функціональних поверхонь компонентів мікрооптоелекромеханічних систем (engl.). Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2020. № 3(40). С. 114-23. https://doi.org/10.30748/nitps.2020.40.13.

[9] O. Filipenko, O. Sychova and O. Chala, "The Investigation of Depending the Dispersion from Changes of the Optical Fibers Refractive Index Profile," *2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, 2018, pp. 452-456, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632154.

[10] Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.

[11] Невлюдов І.Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарєва. – Київ: НАУ, 2018. – 200.

[12] Wagner, T., Herrmann, C., Thiede, S. (2017), "Industry 4.0 impacts on production systems", *Procedia Cirp*, No. 63, P. 125–131.

[13] Невлюдов І.Ш. Розробка синтаксичної та семантичної моделі мови визначення і опису даних предметної області / І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв, А.І. Демська // II Міжн. нук.-техн. конф. «Виробництво & Мехатронні системи» (M&MS-2018). – Харків, 2018. – 2018. – С. 48–53.

[14] Visual monitoring of the break surface of the installation connection of electronic equipment / Nevliudov I., Starodubcev N., Demska N., Omarov Sh. // Information system and innovative technologies in projekt management [Text]: Collective monograph edited byl. Linde, I. Chumachenko, V. Timofeyev. – Kharkiv : NURE, 2019. – p. 258-270

[15] Невлюдов І. Ш.Трансфер технологій у сучасній науці, освіті та виробництві в умовах четвертої промислової революції «ІНДУСТРІЯ 4.0» / Невлюдов І. Ш., Чала О. О., Олександров Ю. М. // Сучасний рух науки: тези доп. VIII міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 3-4 жовтня 2019 р. – Дніпро, 2019. – Т.2 С.: 604-608