

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

ТЕСЛЮК ТАРАС ВАСИЛЬОВИЧ



УДК 004.[9+896]

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЗБОРУ І ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ В
СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ ПІДПРИЄМСТВА**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизованих систем управління Національного університету "Львівська політехніка" Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
ЦМОЦЬ Іван Григорович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри автоматизованих систем управління.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
ТИМЧЕНКО Олександр Володимирович,
Українська академія друкарства,
професор кафедри комп'ютерних наук та
інформаційних технологій;

кандидат технічних наук, доцент
ГНАТЧУК Єлизавета Геннадіївна,
Хмельницький національний університет,
доцент кафедри комп'ютерної інженерії та
системного програмування.

Захист відбудеться « 16 » травня 2019 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.14 у Національному університеті "Львівська політехніка" за адресою: 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 28а, ауд. 807, V навч. корп.

З дисертацією можна ознайомитися у Науково-технічній бібліотеці Національного університету "Львівська політехніка" за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «05» квітня 2019 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент



А.Є. Батюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Розвиток економіки України тісно пов'язаний з підвищенням її енергоефективності, яка залежить від збалансованого і ощадливого споживання енергетичних ресурсів; використання нових технологій, обладнання та схем енергопостачання; структури споживання паливно-енергетичних ресурсів; рівня управління енергоефективністю і споживанням енергоресурсів. Для оцінювання енергоефективності економіки країни використовують низку показників, зокрема, валовий внутрішній продукт (ВВП), що характеризує рівень витрат паливно-енергетичних ресурсів на одиницю виробленого валового внутрішнього продукту. Енергоємність ВВП в Україні більше, ніж у два рази перевищує енергоємність ВВП економічно розвинених європейських країн, що унеможливує досягнення високих темпів економічного зростання та підвищення добробуту громадян.

Підвищення енергоефективності економіки є комплексною проблемою, вирішення якої передбачає розроблення та реалізацію низки системних рішень, як на рівні країни, регіону, так і на рівні окремих підприємств. Важливим інструментом підвищення енергоефективності підприємств є розроблення багаторівневої системи управління енергоефективністю підприємства (БСУЕП). Основними задачами БСУЕП є: збір, зберігання і опрацювання даних у реальному часі про технологічний процес, енергоспоживання та випуск продукції. Використовуючи результати опрацювання такої інформації, у БСУЕП виконується оцінювання показників енергоефективності та формуються управлінські рішення з метою підвищення енергоефективності. Основними вимогами, які висувають до засобів збору, зберігання і опрацювання даних є: наближення їх до джерел, виконавчих механізмів і лічильників обліку енергоспоживання; інтелектуалізація процесу опрацювання та прийняття управлінських рішень; виконання обмежень щодо габаритів, енергоспоживання, вартості та часу розробки.

Створення таких засобів вимагає розроблення і вдосконалення існуючих методів збору, зберігання та опрацювання даних і їх орієнтацію на широке використання сучасної елементної бази. Крім того, вимагається розроблення методів синтезу засобів збору, зберігання та опрацювання даних і моделей динамічного аналізу їх функціонування в БСУЕП.

Значний внесок в теорію та практику дослідження енергоефективності підприємств внесли: В. Л. Ганжа – розроблені основні принципи енергетичного менеджменту; Дж. Нільсон та А. Мартенсон – регіональне енергопланування та розроблення локальних енергосистем; А. Мастепанов – економіка та енергетика регіонів; Б. Кейпхарт – методи та засоби побудови автоматизованих систем управління енергоефективністю; Мін Янг та Ксін Ю – дослідження проблем управління енергоефективністю на державному рівні та міждержавна співпраця; С. Тіде – застосування систем управління енергоефективністю у виробничій сфері; К. Оунг – вироблення рекомендацій щодо підвищення енергоефективності у виробництві; Б. Сміт – рішення для підвищення енергоефективності в ІТ-сфері; К. Метаксіотіс – інтелектуалізація систем управління енергоефективністю; П. Толандер і Дж. Палм – інженерні рішення для підвищення енергоефективності; Дж. Ху і С.-Ц. Ванга – розроблення узагальненого фактора енергоефективності; Сікора

Л.С. – моделі систем управління технологічними процесами; Медиковський М. О. – розроблення моделей та засобів управління енергоефективністю; Ткаченко Р. О. – моделі керування енергоефективністю на основі штучних нейронних мереж.

Таким чином, актуальною науковою задачею є розроблення та вдосконалення моделей, методів і синтез засобів збору та опрацювання даних багаторівневої системи управління енергоефективністю підприємства з високими техніко-економічними характеристиками. Відповідно, тема дисертаційного дослідження “Методи та засоби збору і опрацювання даних в системах управління енергоефективністю підприємства” є актуальною.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами. Дослідження, представлені в дисертації, проводилися в рамках держбюджетних НДР Національного університету “Львівська політехніка” «Інтелектуальні інформаційні технології багаторівневого управління енергоефективністю регіону» (номер державної реєстрації 0117U004450) та “Розроблення базових компонентів для синтезу інтелектуальних мобільних робототехнічних систем” (номер державної реєстрації 0113U003191).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розроблення та вдосконалення моделей, методів і синтез засобів збору та опрацювання даних багаторівневої системи управління енергоефективністю підприємства з високими техніко-економічними характеристиками.

Мета дисертаційної роботи визначила необхідність виконання таких завдань:

- проаналізувати існуючі методи та засоби збору і опрацювання даних в системах управління енергоефективністю підприємства та визначити основні напрямки розроблення апаратно-програмних складових для синтезу систем управління енергоефективністю підприємства;
- розробити моделі на основі теорії мереж Петрі для аналізу процесів в багаторівневих системах управління енергоефективністю підприємства;
- удосконалити метод синтезу засобів збору і опрацювання даних в системах управління енергоефективністю підприємства;
- удосконалити метод обміну даними між ієрархічними рівнями в системах управління енергоефективністю підприємства;
- удосконалити метод реалізації засобів опрацювання даних з використанням нейромереж, на основі паралельного таблично-алгоритмічного обчислення скалярного добутку;
- розробити інструментальні засоби синтезу та реалізувати і дослідити апаратно-програмні пристрої збору і опрацювання даних у БСУЕП.

Об'єктом дослідження є процеси збору і опрацювання даних в багаторівневих системах управління енергоефективністю підприємства.

Предметом дослідження є моделі, методи та засоби збору і опрацювання даних в багаторівневих системах управління енергоефективністю підприємства.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених в дисертаційній роботі задач, використано теорію мереж Петрі та їх розширення для побудови моделей функціонування багаторівневих систем управління енергоефективністю підприємства, теорії розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації для вибору

елементної бази, методи нейромережових технологій для синтезу засобів інтелектуального опрацювання даних, теорія проектування апаратно-програмних засобів для синтезу складових інформаційної технології (ІТ), методи об'єктно-орієнтованого підходу в процесі розроблення програмних засобів.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень отримано такі результати:

1. Вперше розроблено моделі динамічного аналізу функціонування засобів збору і опрацювання даних в багаторівневих системах управління енергоефективністю підприємства, які за рахунок використання теорії ієрархічних мереж Петрі, забезпечують прийняття рішення про відповідність функціонування системи згідно з вимогами технічного завдання.

2. Удосконалено метод синтезу засобів збору і опрацювання даних в системах управління енергоефективністю підприємства, який за рахунок врахування інтерфейсів, вимог технічного завдання та використання інтегрального критерію ефективності компонентів, забезпечує синтез засобів систем з високими техніко-економічними показниками.

3. Удосконалено метод безконфліктного обміну даними, який за рахунок узгодження інтенсивності надходження даних з інтенсивністю доступу до засобів обміну, забезпечує визначення мінімальної швидкодії пам'яті для синтезу засобів обміну в реальному часі з високими техніко-економічними показниками.

4. Удосконалено метод обчислення сигналу постсинаптичного збудження нейронних елементів в штучних нейронних мережах, який ґрунтується на паралельному таблично-алгоритмічному обчисленні скалярного добутку з використанням двох і більше таблиць та забезпечує зменшення часу опрацювання даних.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

1. Розроблено структуру, програмне та інформаційне забезпечення системи синтезу засобів ІТ збору і опрацювання даних в системах управління енергоефективністю підприємства.

2. Розроблено алгоритми застосування методів та моделей для ІТ збору і опрацювання даних в БСУЕП. Використання методу вибору елементної бази та синтезу базових апаратно-програмних компонентів забезпечує зменшення часу їх розроблення та підвищує ефективність використання обладнання.

3. Розроблено трирівневу базову архітектуру БСУЕП із змінним складом обладнання, яка має постійне ядро та змінні модулі, за допомогою яких забезпечується адаптація системи до вимог конкретного підприємства. Використання розробленої моделі архітектури багаторівневої системи управління енергоефективністю підприємства, яка ґрунтується на теорії простих, кольорових та ієрархічних мереж Петрі, забезпечує дослідження динаміки функціонування системи, визначення надлишковості структури, зациклень та тупикових станів.

4. Розроблено пристрій збереження та обміну в БСУЕП з промисловою мережею, в якому завдяки використанню методу часового розподілу ресурсів пам'яті, забезпечено безконфліктний обмін даними у реальному часі та збільшено множину зовнішніх пристроїв, що реалізують режим звертання багатьох до багатьох.

5. Розроблено структуру та алгоритм функціонування інтелектуальної БСУЕП для тепличного вирощування рослин. Побудовано структуру, алгоритм функціонування, програмне та технічне забезпечення базової інтелектуальної складової для збору та опрацювання даних, яка ґрунтується на використанні штучних нейронних мереж з використанням, в процесі її програмно-апаратної реалізації, паралельного таблично-алгоритмічного обчислення скалярного добутку з використанням двох і більше таблиць (Заявка на видачу патенту № а201711461 від 23.11.2017 р.), що дає змогу опрацьовувати дані в режимі реального часу та розпаралелити процес опрацювання технологічних даних.

6. Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи використовуються при розробленні перспективних радіоелектронних систем, які працюють в режимі реального часу в Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України та впроваджені у навчальний процес кафедри автоматизованих систем управління Національного університету “Львівська політехніка”. Впровадження матеріалів досліджень підтверджено відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати теоретичних і практичних досліджень, викладених у дисертації, одержано автором особисто. Праця [11] опублікована одноосібно. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: програмне забезпечення, результати та метод синтезу засобів збору і опрацювання даних в БСУЕП з використанням інтерфейсів [1]; архітектура та алгоритми роботи БСУЕП [2, 6, 9, 16]; моделі на основі простих, кольорових та ієрархічних мереж Петрі, програмне забезпечення і результати дослідження [2, 10, 11]; метод безконфліктного обміну даними та пристрій збереження та обміну даними між складовими багаторівневої системи [3, 18]; метод реалізації засобів опрацювання даних з використанням нейромереж, який ґрунтується на паралельному таблично-алгоритмічному обчисленні скалярного добутку [5, 27]; інформаційна модель та база даних системи автоматизації структурного синтезу з використанням морфологічного методу [8]; метод вибору комплектуючих засобів інформаційної технології БСУЕП [1, 8, 19]; модель та програмне забезпечення інтелектуальної складової системи управління технологічними процесами [7]; структура, програмне та інформаційне забезпечення системи розв’язання задач багатокритеріальної оптимізації з використанням побудови множини оптимальних рішень – Парето [13]; структура та програмне забезпечення нейроконтролера [15, 24]; модель та структура інтелектуального засобу системи [17]; моделі на основі мереж Петрі та програмне забезпечення [20, 21]; фізична модель управління робототехнічною системою [22]; алгоритм та програмне забезпечення [23]; структура, модель на основі штучних нейронних мереж та програмне забезпечення [25]; структура, програмне та інформаційне забезпечення системи синтезу мікроконтролерних пристроїв [26].

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення та практичні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: Міжнародній науково-технічній конференції “Перспективні технології і методи проектування МЕМС” (“Perspective Technologies and Methods in MEMS Design”), MEMSTECH, (Поляна – Свалява (Закарпаття), 2013, 2015, 2018); Міжнародній конференції «Досвід розробки і застосування САПР в мікроелектроніці» (The

Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics), CADSM (Поляна – Свалява (Закарпаття), 2013, 2017); Міжнародній науково-технічній конференції “Комп’ютерні науки та інформаційні технології” (“Computer Sciences and Information Technologies”), CSIT, (Львів, 2012, 2017), Міжнародній науково-технічній конференції “Data Stream Mining & Processing”, DSMP, (Львів, 2016, 2018), VIII-ій Українсько-польській науково-практичній конференції “Електроніка та інформаційні технології” (ЕЛІТ-2017), (Львів-Чинадієво, 2017), а також на наукових семінарах кафедри автоматизованих систем управління Національного університету “Львівська політехніка” (2016-2018).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 27 друкованих праць, серед них 1 стаття одноосібна та 4 статті у наукових періодичних виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus та 11 статей у фахових виданнях України, 5 з яких входять до міжнародних наукометричних баз Inspec, Index Copernicus, та 11 публікацій у матеріалах конференцій, 8 з яких входять до міжнародної наукометричної бази Scopus та Web of Science.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 200 сторінок, у тому числі 158 сторінок основного тексту, 36 рисунків та 6 таблиць, список використаної літератури налічує 160 бібліографічних найменувань. Дисертація містить 7 додатків, розміщених на 25 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні задачі досліджень, визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів, показано зв'язок роботи з науковими темами. Подано відомості про апробацію результатів роботи, особистий внесок автора та його публікації.

У першому розділі дисертаційної роботи проаналізовано основні аспекти технології Індустрії 4.0, яка дає змогу забезпечити високий рівень конкурентоспроможності сучасних підприємств. Результати аналізу дають змогу стверджувати, що подальший розвиток енергетичного сектору України неможливий без впровадження принципів технології “Industry 4.0”.

Проведено аналіз існуючих систем та стандартів управління підприємствами, а саме: ANSI ISA-95 та IEC 62264-1. Застосування стандарту ANSI ISA-95 дає змогу зменшити час інтеграції системи управління на підприємстві, підвищити успішність завершення інтеграції системи, зменшити витрати на розгортання системи, оскільки використовують стандартні формати та програмні модулі. Ґрунтуючись на проведеному аналізі, розроблено базову структуру системи управління технологічними процесами, яка складається з трьох рівнів: збору даних та управління виконавчими механізмами; контролю та управління технологічними процесами; операторського контролю та формування управлінських рішень.

На основі вищепроведеного аналізу, сформовано вимоги до розроблення базових засобів БСУЕП, а саме: доцільно використовувати такі підходи: перший – на основі використання універсальних обчислюваних засобів (комп’ютерів, мікропроцесорів і мікроконтролерів) шляхом розроблення спеціалізованого

програмного забезпечення; другий – з використанням спеціалізованих засобів ПЛІС, які апаратно реалізують алгоритми роботи засобів БСУЕП; третій – з використанням функціонально-орієнтованих засобів (систем на кристалі, універсальних обчислювальних засобів доповнених апаратними розширювачами, які реалізують базові алгоритми та складні базові операції). Пропонується розроблення високоефективних засобів збору та опрацювання в БСУЕП здійснювати на основі комплексного підходу, який ґрунтується на можливостях сучасної елементної бази та охоплює методи і алгоритми опрацювання даних, архітектури компонентів, враховує вимоги конкретних застосувань та інтенсивності надходження даних.

Проаналізовано базові елементи для синтезу програмних та апаратних засобів збору і опрацювання даних в БСУЕП та інтерфейси комунікації між ними. Визначено їх переваги і недоліки та особливості практичного використання.

На основі проведеного аналізу та дослідження, сформовано вимоги до БСУЕП та обґрунтовано її реалізацію на основі модульно-ієрархічного підходу з використанням готових елементів і базових проектних рішень та таких принципів: системної інтеграції, змінного складу обладнання, модульності побудови, відкритості та сумісності програмно-апаратного забезпечення.

В другому розділі розроблено метод синтезу засобів збору і опрацювання даних в системах управління енергоефективністю підприємства, який містить два основні етапи: на першому етапі необхідно вибрати елементну базу, що ґрунтується на розробленому методі вибору базових елементів та другим етапом є безпосередньо синтез засобів збору і опрацювання даних з врахуванням вимог технічного завдання та параметрів інтерфейсів між базовими елементами синтезованої структури.

В основі першого етапу використовується метод вибору базових елементів, який ґрунтується на застосуванні теорії багатокритеріального аналізу та враховує вимоги конкретного застосування. Ядром методу є обчислення інтегральної оцінки ефективності на основі часткових критеріїв ефективності для кожного базового елемента, які формуються для кожного конкретного застосування. Обчислення інтегральної оцінки ефективності здійснюється за схемою компромісів, зокрема для інтегральної оцінки ефективності j -ї елементної бази E_{IEBj} використовуємо наступний вираз (m – кількість базових елементів):

$$\max E_{IEBj} = \sum_{i=1}^n \lambda_i E_{юЕi}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

де: λ_i – i -й ваговий коефіцієнт, що визначає відносну важливість i -го часткового критерію; $E_{юЕi}$ – нормована оцінка ефективності i -го часткового критерію; n – кількість включених в згортку часткових критеріїв ефективності елементної бази.

Для визначення значень вагових коефіцієнтів, використовується метод ранжування або метод приписування балів.

Метод вибору елементної бази для синтезу засобів БСУЕП вимагає виконання таких кроків, а саме: сформувані перелік часткових критеріїв, від яких залежить ефективність елементної бази; визначити шкалу зміни числових значень часткових критеріїв ефективності елементної бази (на основі вимог технічного завдання); визначити множину елементної бази, які відповідають вимогам технічного завдання

для складових БСУЕП; обчислити значення вагових коефіцієнтів, які визначають відносну важливість i -го часткового критерію; обчислити значення i -х часткових нормованих критеріїв ефективності для елементної бази; обчислити інтегральну оцінку ефективності кожної j -ї елементної бази; порівняти та вибрати елементну базу для синтезу складових БСУЕП.

Наведена вище адитивна форма (1) обчислення інтегральної оцінки ефективності володіє недоліком, який полягає в можливості компенсації значень одного часткового критерію іншим, тому зручніше використати мультиплікативну згортку, а саме: $\max E_{IEBj} = \prod_{i=1}^n \lambda_i E_{iоЕi}$, а в ряді випадків максимінну чи мінімаксу форми представлення згортки для обчислення інтегральної оцінки ефективності.

Отже, вдосконалений метод забезпечує вибір базових елементів для синтезу засобів збору і опрацювання даних з високими техніко-економічними показниками.

На другому етапі реалізації методу синтезу засобів збору та опрацювання даних, необхідно побудувати нові функціональні засоби, які складаються із елементів отриманих на першому етапі.

Другий етап ґрунтується на розробленому методі синтезу засобів інформаційної технології БСУЕП, який, на відміну від існуючих, за рахунок врахування інтерфейсів зв'язку базових складових та їх параметрів забезпечує зменшення апаратно-часових затрат.

Алгоритм синтезу засобів збору та опрацювання даних багаторівневої системи управління енергоефективністю підприємства містить п'ять кроків.

На першому кроці необхідно проаналізувати вимоги технічного завдання, підготувати множини базових елементів. За основу беруться множини базових елементів отримані на першому етапі. У випадку, якщо необхідно використати декілька однотипних компонент (для прикладу датчиків температури), то дублюється множини базових компонент вказаного типу.

Другий крок алгоритму – синтез множин елементів, які можуть сформувати розроблювальний засіб. Синтезовані засоби формують на основі однієї комп'ютерної складової, яка відповідає за роботу системи. Елементи зв'язку, датчі та актюатори мають бути під'єднанні до комп'ютерної складової. Підбір конфігурацій системи відбувається так, щоб у вибірці кількість комп'ютерних складових була рівна 1, а кількість датчиків, актюаторів, модулів зв'язку відповідала початковим умовам: $Kk = \{Kk1, Kk2, \dots, Kkn\}$ – множина комп'ютерних компонент; $S = \{Kk1, Kk2, \dots, Kkn\}$ – множина датчиків; $A = \{Kk1, Kk2, \dots, Kkn\}$ – множина актюаторів; $Cm = \{Cm1, Cm2, \dots, Cmn\}$ – множина модулів зв'язку; $Kk' \subseteq Kk$ – сформована підмножина комп'ютерних компонентів потужністю 1 $K \subseteq Kk'$; $S' \subseteq S$ – сформована підмножина датчиків; $A' \subseteq A$ – сформована підмножина актюаторів; $Cm' \subseteq Cm$ – сформована підмножина модулів зв'язку.

Для генерації варіантів синтезу використовується послідовний перебір існуючих складових із кожної множини базових елементів (датчі, актюатори, модулі зв'язку, тощо) та поєднання їх у новий синтезований засіб згідно із технічним завданням. По завершенню роботи даного кроку – формується попередня

множина варіантів синтезованих компонент.

На третьому кроці виконується відкидання варіантів синтезованих компонент, базові компонент яких не є сумісними між собою. Кожен із базових елементів містить перелік інтерфейсів по яким він здатний комунікувати. Перелік критеріїв властивостей інтерфейсів для апаратно-програмних компонентів наведений в таблиці 1. Під час дослідження кожної із попередньо згенерованих множин, відбувається обчислення кількості використаних портів периферії. Відповідно, відсіюються такі варіанти, у яких кількість доступних портів комп'ютерної складової є менша за необхідну кількість портів для підключення решти елементів. Нерівності, якими описується дана залежність представлені за формулами 2.

Таблиця 1 – Перелік додаткових критеріїв для компонент

Назва критерію	Позначення
Загальна кількість аналогових портів j -ї апаратно-програмної компоненти	A_j
Загальна кількість GPIO цифрових портів j -ї апаратно-програмної компоненти	$GPIO_j$
Загальна кількість I2C цифрових портів j -ї апаратно-програмної компоненти	$I2C_j$
Загальна кількість SPI цифрових портів j -ї апаратно-програмної компоненти	SPI_j
Загальна кількість допоміжних портів j -ї апаратно-програмної компоненти	O_j

Кількість портів має задовольняти наступним умовам:

$$\begin{aligned}
 \sum K_a &\geq \sum S'_{ja} + \sum A'_{ja} + \sum Cm'_{ja}, & (2) \\
 \sum KGPIO &\geq \sum S'_j GPIO + \sum A'_j GPIO + \sum Cm'_j GPIO, \\
 \sum K12C &\geq \sum S'_j 12C + \sum A'_j 12C + \sum Cm'_j 12C, \\
 \sum KSPI &\geq \sum S'_j SPI + \sum A'_j SPI + \sum Cm'_j SPI, \\
 \sum KO &\geq \sum S'_j O + \sum A'_j O + \sum Cm'_j O.
 \end{aligned}$$

На четвертому кроці відбувається обчислення значень цільової функції для кожної відфільтрованої конфігурації синтезованої системи. Цільова функція є адитивна і враховує вплив кожного із компонент на загальний стан системи (формула 3).

$$Q_j = (KE_i + \sum S'nE_i + \sum A'mE_i + \sum cm'pE_i) / (1 + n + m + p). \quad (3)$$

На п'ятому етапі відбувається сортування та вибір синтезованих компонентів БСУЕП з множини із N компонентів із максимальним значенням інтегрованої оцінки ефективності Q_j .

Отже, розроблений метод дає змогу автоматизувати процес синтезу структури засобів збору та опрацювання БСУЕП з врахуванням інтерфейсів базових елементів

та дає змогу підвищити якість проєктованих модулів БСУЕП.

Одним із часткових випадків є задача пошуку перших M синтезованих компонент із максимальним значенням цільової функції. У цьому випадку, при використанні адитивного чи мультиплікативного виду згортки, можливо використати модифікацію 1-го та 4-го кроку 2-го етапу синтезу з використанням ідеї методу багатокритеріальної оптимізації Парето.

В основі даної модифікації знаходиться зміна послідовності генерації варіантів синтезу системи. Генерація варіантів синтезу є розбита на декілька ітерацій, які продовжуються доти, доки не буде знайдено принаймні M варіантів синтезу. Оскільки, зростання інтегральної оцінки ефективності елементів збільшує загальну оцінку синтезованих структур засобів у яких вони присутні, то синтез елементів із застосуванням базових компонент із високою інтегральною оцінкою призведе до створення синтезованого елемента із високим значенням цільової функції. На кожній ітерації задається значення параметру K , який є рівним порядковому номеру ітерації.

Розширенням 1-го кроку є генерація підмножин базових елементів одного типу, у які входять не більше K елементів та які мають максимальні значення цільової функції.

Модифікованим 4-им пунктом є обчислення кількості отриманих результатів синтезу P . У випадку, якщо $P \geq M$, то для кожного отриманого варіанту обчислюється значення цільової функції та зупиняється подальший пошук. У протилежному випадку відбувається перехід на наступну ітерацію.

Розроблений метод синтезу дає змогу сформуванню переліку варіантів конфігурації системи, використовуючи меншу кількість обчислень. Усі синтезовані варіанти відповідають технологічному завданню, є сумісними по інтерфейсам та мають високі техніко-економічні показники.

Розроблено інформаційну модель структур синтезованих засобів збору і опрацювання даних в БСУЕП, яка ґрунтується на використанні теорії графів та кортежів і дає змогу формалізувати базову структуру та модифікувати її в процесі вдосконалення. Інформаційну модель структури системи описано з допомогою кортежа наступного виду: $S_{TR} = \langle E, Z, M_{IN} \rangle$, $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$, $Z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$, де: E – множина елементів структури системи; n – кількість елементів структури системи; Z – множина зв'язків між елементами структури (ребер); M_{IN} – матриця інцидентності; n – кількість елементів структури системи; m – кількість зв'язків між елементами структури системи. Побудовану модель можна використовувати в процесі синтезу структур засобів БСУЕП.

Сучасні системи управління енергоефективністю підприємства, зазвичай, є трирівневі. Специфіка кожного рівня визначається апаратно-програмними складовими та задачами, які розв'язуються на цьому рівні. Однією з основних задач БСУЕП є формування у реальному часі єдиного інформаційного простору з повною оперативною інформацією та забезпечення безконфліктного обміну між складовими розробленої системи. Для розв'язання таких задач, вдосконалено метод безконфліктного обміну даними, який за рахунок узгодження інтенсивності надходження даних з інтенсивністю доступу до засобів обміну, забезпечує

визначення мінімальної швидкодії пам'яті для синтезу засобів обміну в реальному часі з високими техніко-економічними показниками.

В дисертації розроблено модуль збору, обміну та збереження даних (МЗОЗД). Загальна структура БСУЕП з таким МЗОЗД зображена на рис.1.

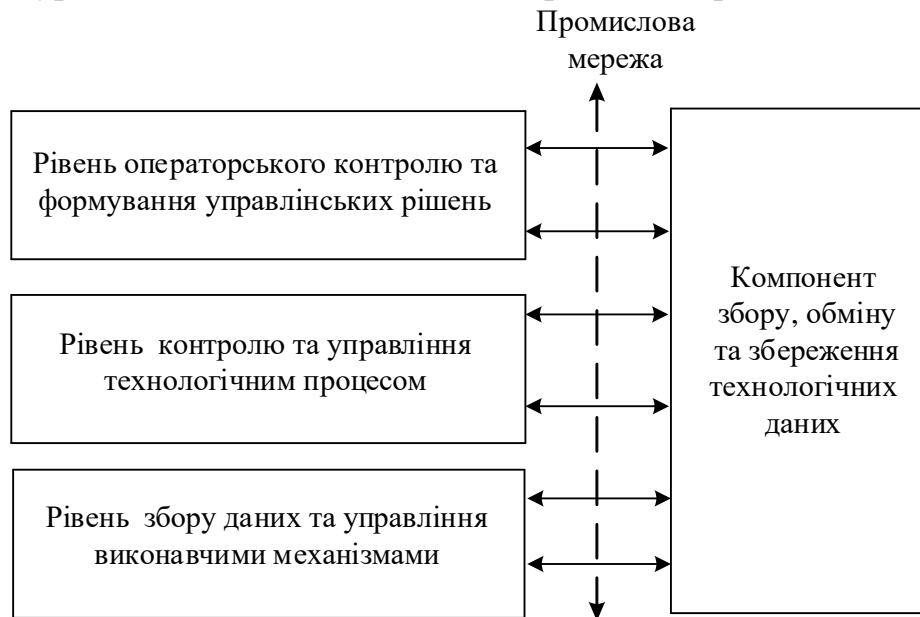


Рисунок 1 – Структура БСУЕП з модулем збору, обміну та збереження даних

МЗОЗД пропонується синтезувати на основі багатопортової пам'яті (БПП). Основними складовими БПП є оперативна швидкодіюча з великим обсягом пам'ять, контролери доступу до пам'яті та адаптери інтерфейсів промислової мережі.

В основу синтезу МЗОЗД, пропонується покласти метод часового розподілу ресурсів пам'яті між зовнішніми пристроями (робочі станції, мікропроцесорні системи, інтелектуальні сенсори та виконавчі механізми), які підключаються до МЗОЗД за допомогою інтерфейсів промислової мережі. За цим методом, кожному j -у пристрою, циклічно з заданим періодом T_j , надається фіксований часовий інтервал доступу до пам'яті. Даний часовий інтервал визначається часом циклу доступу до пам'яті та кількістю зовнішніх пристроїв, які підключаються до МЗОЗД. Мінімальний період звертання зовнішніх пристроїв до МЗОЗД визначається так: $T_{\min} = kt_u$, де T_{\min} – найменший з періодів звертання зовнішніх пристроїв до МЗОЗД, t_u – цикл доступу до оперативної пам'яті, k – кількість зовнішніх пристроїв, що мають доступ до МЗОЗД.

Коли період звертання зовнішніх пристроїв рівний або більший T_{\min} , то забезпечується безконфліктний паралельний обмін через МЗОЗД. Обмін МЗОЗД з зовнішніми пристроями повинен здійснюватися з використанням інтерфейсів на основі технології польової шини.

При виборі пам'яті, яка використовується для розроблення МЗОЗД, цикл доступу визначається за виразом: $t_u \leq \frac{T_{\min}}{k}$, де t_u – цикл доступу до оперативної пам'яті.

В дисертаційній роботі удосконалено метод часового розподілу ресурсів оперативної пам'яті між зовнішніми пристроями, шляхом узгодження інтенсивності надходження даних $P_d = kF_{di}$ – з інтенсивністю доступу до МЗОЗД $P_{\text{МЗОЗД}} = \frac{kn}{T_{\text{мін}}}$, де

P_d – інтенсивність надходження даних; F_{di} – частота надходження i -х розрядів даних; k – кількість зовнішніх пристроїв; $P_{\text{МЗОЗД}}$ – інтенсивність доступу до МЗОЗД; n – розрядність даних.

Узгодження інтенсивності надходження даних P_d з інтенсивністю доступу до МЗОЗД $P_{\text{МЗОЗД}}$ забезпечує вибір мінімальної швидкодії для пам'яті, яка забезпечить безконфліктний обмін для k зовнішніх пристроїв. Оскільки, швидкодія пам'яті напряму пов'язана з потужністю споживання, надійністю та вартістю – це забезпечує зменшення вартості та потужності споживання і підвищує надійність функціонування МЗОЗД.

Одними із шляхів підвищення ефективності методів та засобів збору і опрацювання даних в багаторівневих системах управління енергоефективністю підприємства – є використання інтелектуальних засобів ІТ. У БСУЕП інтелектуальні засоби використовуються для розв'язання таких задач: відновлення втрачених даних, які надходять із давачів в умовах завод; динамічна фільтрація даних із давачів; компресії та декомпресії даних; прогнозування, контроль та управління технологічними процесами; налаштування технічних параметрів; забезпечення інформаційної безпеки та інші.

Реалізацію інтелектуальних засобів БСУЕП пропонується здійснювати на базі штучних нейронних мереж. Основними елементами, на базі яких синтезуються нейроподібні системи є нейроелементи, в яких вагові коефіцієнти W_j попередньо обчислюються і не змінюються або дуже рідко змінюються у процесі роботи. У загальному випадку, нейроелемент здійснює перетворення даних у відповідності з формулою:

$$Y = f\left(\sum_{j=1}^N W_j X_j\right), \quad (4)$$

де Y – вихідний сигнал нейроелемента, f – функція активації, N – кількість входів.

З формули (4) випливає, що опрацювання даних у нейроелементі зводиться до операції обчислення скалярного добутку та функції активації f . Значна частина інтелектуальних засобів синтезують на базі мікроконтролерів (мікропроцесорів), операційним базисом яких є прості арифметичні операції (додавання, віднімання, інверсія та зсуви). У таких інтелектуальних засобах, для обчислення скалярного добутку, використовують алгоритми множення з прямим формуванням часткових добутків, оскільки вони є регулярними та добре структурованими. Найуживанішими з них є алгоритми множення з аналізом одного розряду. Множення двійкових чисел з аналізом одного розряду множника записується так:

$$C_j = W_j X_j = \sum_{i=0}^{n-1} 2^{-i} W_j x_i = \sum_{i=0}^{n-1} 2^{-i} P_{ji}, \quad \text{де } n \text{ – розрядність множника; } x_i \text{ – значення } i\text{-го}$$

розряду множника; P_{ji} – i -й частковий добуток.

Операція множення за таким алгоритмом виконується за n кроків, кожний з яких зводиться до формування та накопичення часткових добутоків відповідно до наступних формул:

$$P_{ji} = W_j x_{ji}, C_{ji} = 2^{-1} C_{j(i-1)} + P_{ji}, \quad (5)$$

C_{ji} – сума накопичених часткових добутоків, $C_0 = 0$.

Для обчислення скалярного добутку $Z = \sum_{j=1}^N W_j X_j$, з використанням алгоритмів множення (5), необхідно виконати N операцій множень і $N-1$ додавань. Зменшити час отримання скалярного добутку можна шляхом використання багатооперандного підходу та вертикальної моделі обчислення. Реалізація такого обчислення вимагає формування макрочасткового добутку P_{Mi} для кожного розрядного зрізу.

У нейроподібних системах, вагові коефіцієнти W_j попередньо обчислюються, тобто їх можна вважати константами. Для обчислення скалярного добутку вдосконалимо вертикальний таблично-алгоритмічний метод обчислення, який передбачає обчислення та зберігання у пам'яті макрочасткових добутоків P_{Mi} з наступним їх підсумовуванням. Обчислення значень макрочасткових добутоків P_{Mi} , здійснюється за такою формулою:

$$P_{Mi} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x_{1i} = x_{2i} = x_{3i} = \dots = x_{Ni} = 0 \\ W_1, & \text{якщо } x_{1i} = 1, x_{2i} = x_{3i} = \dots = x_{Ni} = 0 \\ W_2, & \text{якщо } x_{1i} = 0, x_{2i} = 1, x_{3i} = \dots = x_{Ni} = 0 \\ W_1 + W_2, & \text{якщо } x_{1i} = 1, x_{2i} = 1, x_{3i} = \dots = x_{Ni} = 0 \\ \vdots & \\ W_2 + \dots + W_N, & \dots \text{якщо } x_{1i} = 0, x_{2i} = x_{3i} = \dots = x_{Ni} = 1 \\ W_1 + W_2 + \dots + W_N, & \text{якщо } x_{1i} = x_{2i} = x_{3i} = \dots = x_{Ni} = 1 \end{cases}. \quad (6)$$

Обчислення скалярного добутку за таблично-алгоритмічним методом виконується за n ітерацій. Зменшення часу обчислення скалярного добутку за даним методом можна досягти розпаралеленням процесу обчислення, шляхом використання двох і більше таблиць пам'яті. Вдосконалений таблично-алгоритмічний метод з використанням двох таблиць пам'яті для обчислення

скалярного добутку запишеться так: $Z = \sum_{j=1}^N W_j X_j = \sum_{k=0}^{\frac{n}{2}-1} 2^{-k} P_{Mk} + 2^{-n/2} \sum_{g=n/2}^{n-1} 2^{-(g-n/2)} P_{Mg}$.

Обчислення скалярного добутку за даним методом виконується за $n/2$ ітерацій.

Отже, вдосконалено метод обчислення сигналу постсинаптичного збудження нейронних елементів в штучних нейронних мережах, який ґрунтується на паралельному таблично-алгоритмічному обчисленні скалярного добутку з використанням двох і більше таблиць та забезпечує зменшення часу опрацювання

даних.

В третьому розділі розроблено трирівневу базову ієрархічну архітектуру БСУЕП із змінним складом обладнання, яка має постійне ядро та змінні модулі, за допомогою яких забезпечується адаптація системи до вимог конкретного підприємства. Розроблена базова архітектура БСУЕП складається з трьох рівнів: 1-й рівень – збору даних та управління виконавчими механізмами; 2-й рівень – контролю та управління технологічними процесами; 3-й рівень – операторського контролю та формування управлінських рішень. Ядром розробленої БСУЕП є інтернет-сервер, сервери баз даних другого і третього рівнів управління та засоби зв'язку. Змінними модулями для першого рівня управління є – давачі, виконавчі механізми та мікроконтролерні системи, для другого рівня – програмовані логічні контролери та однокристальні комп'ютери, а для третього – персональні комп'ютери.

Математична формалізація ієрархічної архітектури БСУЕП та засобів кожного рівня виконана з використанням теорії множин. На першому рівні збору даних та управління виконавчими механізмами, збір даних здійснюється за допомогою множини давачів: $D = (S_1, S_e, \dots, S_n)$, де S_1 – перший давач, n – кількість давачів. На першому рівні відбувається безпосереднє управління з використанням виконавчих механізмів (актюаторів). Відповідно, множину цих пристроїв описано з використанням наступного виразу: $V = (a_1, a_2, \dots, a_m)$, де a_1 – перший актюатор; m – кількість виконавчих механізмів (актюаторів). Окрім того, даний рівень включає спеціальні засоби (пристрої попереднього опрацювання даних, пристрої зв'язку, приймання та передавання даних, тощо), тому введено множину спеціальних пристроїв: $C = (P_1, P_2, \dots, P_k)$, де P_1 – перший спеціальний засіб; k – кількість спеціальних засобів. Другий рівень – управління технологічними процесами, можна описати з використанням наступного виразу:

$$S_{r-3} = (D, V, C, Z_{V-1}), \quad (7)$$

де: Z_{V-1} – матриця інцидентності, яка відображає зв'язки між елементами множин D , V та C .

Вираз (7) відображає лише технічні засоби, тому необхідно додати підмножину програмних засобів: $S_{r-3} = (D, V, C, Z_{V-1}, P_{r-3})$, $P_{r-3} = (p_{r1}, p_{r2}, \dots, p_{ri})$, де p_{r1} – 1-й програмний засіб; l – кількість програмних засобів на 3-му рівні ієрархії системи управління енергоефективністю підприємства.

На третьому рівні управління (операторського контролю та формування управлінських рішень) відбувається інтеграція даних як від першого, так і для другого рівнів. Накопичені дані опрацьовують та на базі результатів опрацювання формують управлінські рішення. Цей рівень включає власні елементи та описується наступним чином: $S_{r-2} = (C_{Sr-2}, Z_{V-2}, P_{r-2}, S_{Sr-3-k})$, де: C_{Sr-2} – матриця спеціалізованих пристроїв 2-го рівня; P_{r-2} – матриця програмних засобів 2-го рівня, Z_{V-2} – матриця зв'язків між елементами матриці C_{Sr-2} , S_{Sr-3-k} – матриця складових (елементів) третього рівня, k – кількість елементів 3-го рівня. Побудована модель ієрархічної системи дає змогу її формалізувати, що використовується в процесі аналізу та

синтезу як усієї БСУЕП, так і її складових.

Побудовано алгоритми функціонування засобів ієрархічної багаторівневої системи та розроблено моделі для динамічного аналізу функціонування засобів ІТ багаторівневого управління енергоефективністю технологічних процесів.

Для дослідження та аналізу роботи засобів БСУЕП, на системному рівні синтезу БСУЕП розроблено моделі на основі теорії простих та кольорових мереж Петрі, а для опису функціонування ієрархічної системи управління енергоефективністю підприємства, запропоновано використати ієрархічні моделі на основі ієрархічних мереж Петрі. В загальному випадку, така математична модель ієрархічної системи описується наступним виразом:

$$HMP = (MP1, P, T, F, M_0), \quad (8)$$

де $MP1$ – множина Петрі 1-го рівня ($MP1 = (MP1_1, MP1_2, \dots, MP1_n)$, n – кількість мереж Петрі першого рівня); HMP – основна ієрархічна мережа (або ієрархічна мережа 0-го рівня), P – множина позицій, T – множина переходів, F – множина дуг, а M_0 – початкова розмітка для ієрархічної мережі Петрі HMP .

Кожна з мереж Петрі 1-го рівня описується аналогічним виразом з тою особливістю, що вона може включати мережі 2-го рівня: $MP1_k = (MP2_k, P, T, F, M_0)$, де $MP2_k$ – множина мереж 2-го рівня для k -ї мережі 1-го рівня. Для мережі Петрі, з трьома рівнями, будемо мати ще мережі Петрі 3-го рівня: $MP2_k = (MP3_m, P, T, F, M_0)$, де $MP3_m$ – множина мереж 3-го рівня для мережі 2-го рівня $MP2_k$; m – кількість мереж 3-го рівня для мережі $MP2_k$.

Побудована модель дає змогу враховувати особливості ієрархічних систем. На рис. 2 зображено модель на основі мереж Петрі, яка дає змогу дослідити особливості міжрівневої взаємодії. Відповідна мережа розбита на 2 основні рівні. На першому рівні знаходяться підмережі для моделювання роботи кожного з ієрархічних рівнів системи. Кожна із мереж Петрі певного рівня має вхідний та вихідний стек команд. Система працює у двох основних режимах. Перший режим передбачає виконання внутрішніх завдань та формування звітів. У другому режимі відбувається аналіз вхідних даних та виконання команд при потребі.

Побудовані моделі на основі теорії мереж Петрі та їх розширень дають змогу дослідити динаміку та забезпечують прийняття рішення про відповідність функціонування ієрархічної багаторівневої системи згідно з вимогами технічного завдання.

Окрім того, в третьому розділі наведено результати аналізу засобів ІТ багаторівневого управління енергоефективністю підприємства у формі графів досяжності станів, в яких може перебувати кожна з досліджуваних складових. Отримані результати дають змогу стверджувати, що усі стани є досяжними, мережа є живою, а тупикові стани – відсутні.

В четвертому розділі дисертаційної роботи розроблено структуру інформаційної технології збору та опрацювання даних для системи управління енергоефективністю підприємства, яка зображена на рис.3.

Побудовано ІТ з допомогою засобів збору та опрацювання даних, в яких реалізовано методи, що розроблені в другому розділі дисертаційної роботи. ІТ

опрацьовує дані, які отримані від підсистеми давачів. Наступний етап роботи ІТ полягає у збереженні опрацьованих даних у форматі зручному для аналізу і прийняття оптимальних рішень, щодо підвищення енергоефективності підприємства.

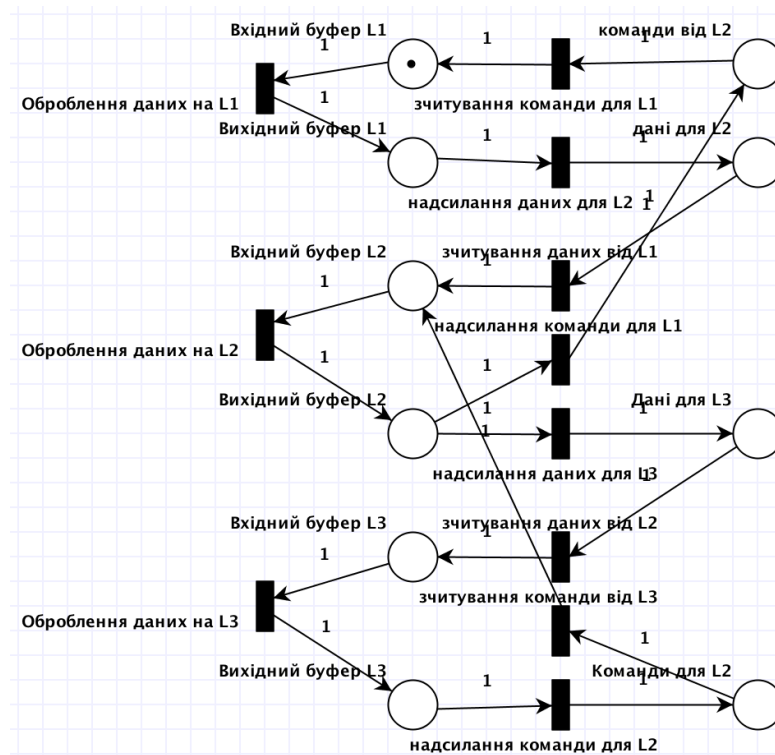


Рисунок 2 – Приклад реалізації мережі Петрі комунікації та взаємодії між рівнями для дворівневої ієрархічної системи

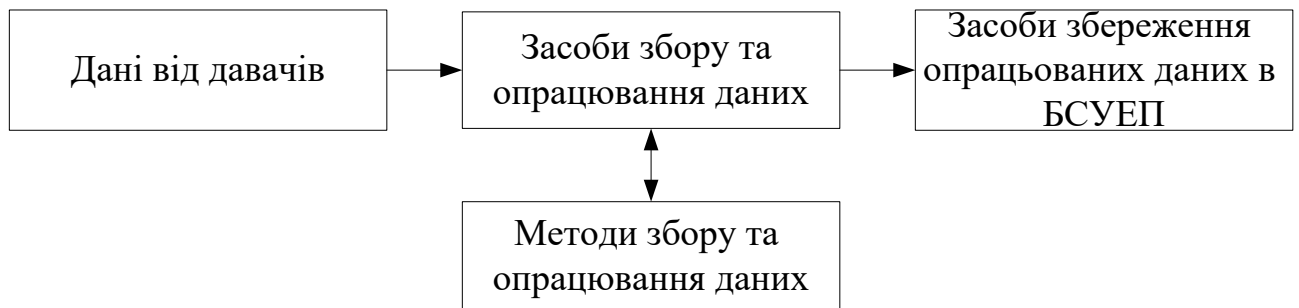


Рисунок 3 – Структура ІТ збору та опрацювання даних для системи управління енергоефективністю підприємства

Розроблена структура та алгоритми функціонування системи синтезу засобів опрацювання даних в БСУЕП, яка включає наступні складові: підпрограму для вибору елементної бази згідно із техніко-економічними показниками; підпрограму для синтезу структури складових для системи управління енергоефективністю технологічного процесу на підприємстві. Структура розробленої системи зображена на рис.4 та ґрунтується на модульному принципі, що дає змогу швидко модифікувати розроблене програмне забезпечення.

Побудовано програмне та інформаційне забезпечення системи синтезу засобів збору та опрацювання даних в БСУЕП, яке ґрунтується на основі даних SQLite та написана на мові Java. Відповідно, розроблене програмне забезпечення є

кросплатформним. Приклад структури розробленої бази даних (БД) зображено на рис.5, яка включає п'ять основних таблиць, де зберігаються дані про базові елементи системи синтезу, а на рис. 6 зображено меню системи синтезу з переліком доступних датчиків температури з розробленої БД.



Рисунок 4 – Структура системи синтезу мікроконтролерних систем

Для реалізації інтелектуальних функцій засобів збору та опрацювання даних в БСУЕП використано моделі на основі штучних нейронних мереж, побудовано структуру, алгоритми та сценарії роботи нейроконтролера. Розроблено програмне та технічне забезпечення нейроконтролера, яке базується на мікроконтролерах серії AVR та STM. Описано структуру нейроконтролера та алгоритми його роботи. Програмне забезпечення реалізовано на мові C.

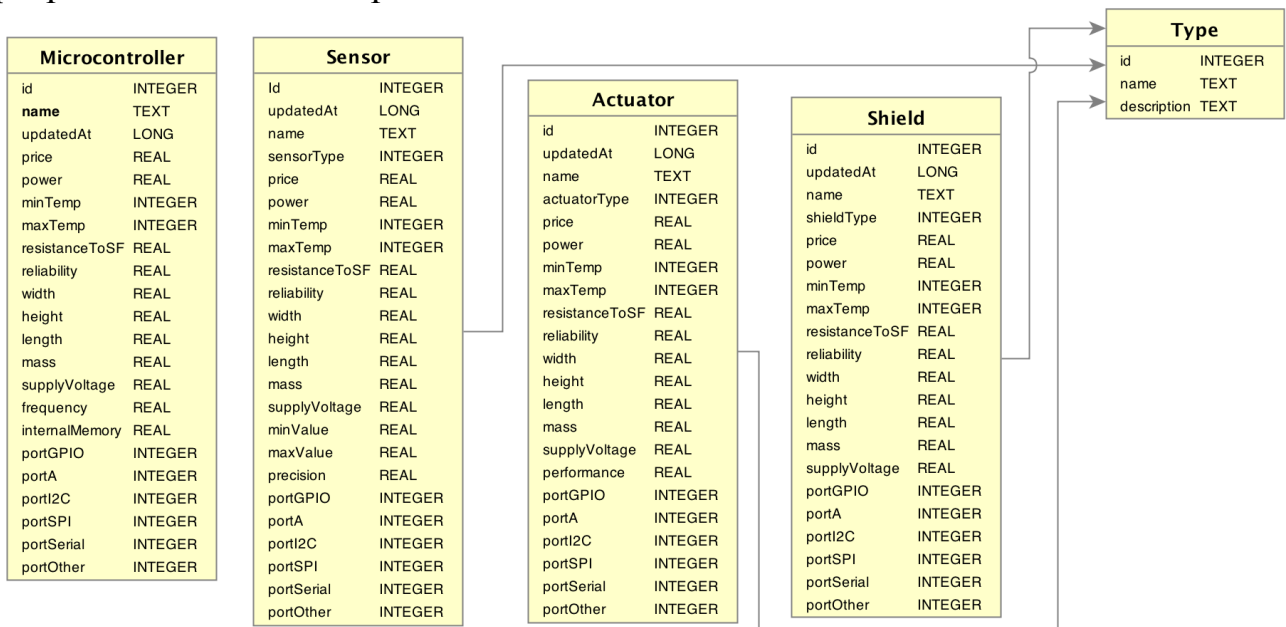


Рисунок 5 – Структура бази даних елементів системи синтезу

В дисертації наведено результати дослідження ефективності розроблених методів синтезу, зокрема зміни кількості варіантів множини альтернативних рішень від кількості базових елементів. Також виконано порівняння результатів роботи обох методів. Для кожної із симуляцій обидва методи надавали однаковий набір синтезованих елементів із максимальними показниками.

У випадку розв'язання задачі синтезу із невеликою кількістю альтернатив, коли для кожного параметру у відповідності є 2-8 відібраних елементів, повний перебір вже на кількості 10 параметрів синтезу передбачав обчислення значення цільової функції для мільйону альтернатив. В той же час, у випадку роботи методу, який базується на використанні методу багатокритеріальної оптимізації Парето та сумісність по портам – кількість варіантів для ідентичних параметрів синтезу була у межах 1000 (рис. 7). Відповідно метод, який ґрунтується на використанні методу Парето та сумісності по портам, потребує на порядок менше обчислень для пошуку найкращих варіантів.

Component		Selection		Synthesis	
Components					
Microcontrol...	Sensor	Actuator	Shield	Type	
id	name	type	updatedAt	price	...
1	DHT11	Sensor Temperature	153376...	29.0	
2	DHT11 Module	Sensor Temperature	153376...	39.0	
3	DHT22	Sensor Temperature	153376...	99.0	
4	DHT21	Sensor Temperature	153376...	112.0	
5	DS18S20 Digital	Sensor Temperature	153376...	49.0	
6	DS18B20 Digital	Sensor Temperature	153376...	24.0	
7	DS18B20 Digi...	Sensor Temperature	153376...	44.0	
8	DS18B20 Digi...	Sensor Temperature	153376...	47.0	

Рисунок 6 – Приклад меню з переліком доступних датчиків температури

повний перебір / Відсіянні варіанти



Рисунок 7 – Залежність варіантів поєднання елементів (синій - загальна кількість варіантів поєднання. Червоний - кількість варіантів відсіяних фільтром сумісності по портам)

У випадку реалізації повного перебору, кількість згенерованих варіантів

синтезу системи рівна добутку відібраних елементів для кожного із параметрів синтезу. Відповідно, під час додавання додаткового параметру, складність задачі зростає лавиноподібно. Для кращого розуміння динаміки роботи методів, зображено значення кількості обчислень у логарифмічній шкалі (рис. 8).



Рисунок 8 – Залежність кількості варіантів рішень від кількості параметрів синтезу

З отриманого графіка можна зробити висновок, що темпи зростання обчислень для повного перебору є вищими, ніж для запропонованого методу. Відповідно, використання розробленого методу – зменшує загальну кількість обчислень.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень, розв’язано актуальне наукове завдання розроблення та вдосконалення моделей, методів і синтез засобів збору та опрацювання даних багаторівневої системи управління енергоефективністю підприємства з високими техніко-економічними характеристиками.

1. Проаналізовано інформаційні технології збору та опрацювання даних в багаторівневих системах управління енергоефективністю підприємства та визначено основні напрямки розроблення апаратно-програмних засобів для синтезу систем збору і опрацювання даних на підприємстві, що дало змогу сформулювати задачі дисертаційного дослідження.

2. Розроблено моделі динамічного аналізу функціонування засобів інформаційної технології збору та опрацювання даних в багаторівневих системах управління енергоефективністю підприємства, які за рахунок використання теорії простих, кольорових та ієрархічних мереж Петрі забезпечують прийняття рішення про відповідність функціонування системи згідно з вимогами технічного завдання.

3. Удосконалено метод синтезу засобів збору і опрацювання даних в системах управління енергоефективністю підприємства, який за рахунок врахування інтерфейсів, вимог технічного завдання та використання інтегрального критерію ефективності компонентів, забезпечує зменшення апаратних та часових затрат від 10

до 40 % та синтез засобів багаторівневих систем з високими техніко-економічними показниками.

4. Удосконалено метод безконфліктного обміну даними, який за рахунок узгодження інтенсивності надходження даних з інтенсивністю доступу до засобів обміну, забезпечує визначення мінімальної швидкодії пам'яті для синтезу засобів обміну в реальному часі, що зменшує вартість засобів обміну та енергоспоживання.

5. Удосконалено метод обчислення сигналу постсинаптичного збудження нейронних елементів в штучних нейронних мережах, який ґрунтується на паралельному таблично-алгоритмічному обчисленні скалярного добутку з використанням двох і більше таблиць та забезпечує зменшення в два і більше разів час опрацювання технологічних даних.

6. Розроблено структуру, програмне та інформаційне забезпечення системи синтезу засобів збору і опрацювання даних в БСУЕП, що дає змогу автоматизувати процес синтезу. Побудовано трирівневу базову архітектуру БСУЕП із змінним складом обладнання, яка має постійне ядро та змінні модулі, за допомогою яких забезпечується адаптація системи до вимог конкретного підприємства. Побудовано структуру та алгоритм функціонування інтелектуальної БСУЕП для тепличного вирощування рослин.

7. Розроблено структуру, алгоритм функціонування, програмне та технічне забезпечення базової інтелектуальної складової для збору та опрацювання даних, яка ґрунтується на використанні штучних нейронних мереж з використанням, в процесі її програмно-апаратної реалізації, паралельного таблично-алгоритмічного обчислення скалярного добутку з використанням двох і більше таблиць (Заявка на видачу патенту № а201711461 від 23.11.2017 р.), що дає змогу опрацьовувати дані в режимі реального часу та розпаралелити процес опрацювання нечітких даних. Реалізовано пристрій збереження та обміну даними в БСУЕП з промисловою мережею, в якому завдяки використанню методу часового розподілу ресурсів пам'яті, забезпечено безконфліктний обмін даними у реальному часі та збільшено множину зовнішніх пристроїв, що реалізують режим звертання багатьох до багатьох.

8. Результати дисертаційної роботи використовуються при розробленні перспективних радіоелектронних систем, які працюють в режимі реального часу в Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України та впроваджені у навчальний процес кафедри автоматизованих систем управління Національного університету "Львівська політехніка".

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Теслюк Т.В., Цмоць І.Г., Ємець В.Ф., Зелінський А.Я., Коваль В.Я. Метод синтезу структур компонентів системи управління технологічними процесами. Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць. Інститут моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України. 2018. Вип.83. С. 165–173.

2. Teslyuk T., Tsmots I., Teslyuk V., Medykovsky M., Opotyak Y. Architecture and Models for System-Level Computer-Aided Design of the Management System of Energy Efficiency of Technological Processes at the Enterprise. In: Shakhovska

N., Stepashko V. (eds) *Advances in Intelligent Systems and Computing II*. CSIT 2017. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer, Cham. 2017. Vol. 689. – P. 538–557. (Scopus)

3. Цмоць І.Г., Теслюк Т.В., Машевська М.В., Теслюк В.М. Модель організації обміну та збереження даних у багаторівневих системах управління технологічними процесами. *Науковий Вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27. № 1, С. 197–202. (Index Copernicus)

4. Цмоць І.Г., Цимбал Ю.В., Скорохода О.В., Хавалко В.М., Теслюк Т.В. Апаратна реалізація нейромережових засобів шифрування-дешифрування інформаційних потоків даних. *Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць*. Інститут моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України. 2018. Вип. 82. С. 117–123.

5. Tsmots I., Teslyuk V., Teslyuk T., Ihnatyev I. Basic Components of Neuronetworks with Parallel Vertical Group Data Real-Time Processing. In: Shakhovska N., Stepashko V. (eds) *Advances in Intelligent Systems and Computing II*. CSIT 2017. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer, Cham. 2017. Vol. 689. P. 558–576. (Scopus)

6. Tsmots I., Medykovskyy M., Skorokhoda A., Teslyuk T. Design of Intelligent Component of Hierarchical Control System. *ECONTECHMOD. An International Quarterly Journal*. 2016. Vol. 05. No. 2. P. 3–10. (Index Copernicus)

7. Цмоць І.Г., Теслюк Т.В. Структура та моделі роботи системи управління мікрокліматом мінітеплиці. *Комп'ютерні науки та інформаційні технології: Вісник НУ “ЛП”*. 2016. № 843. С. 228–237.

8. Цмоць І.Г., Теслюк Т.В., Коваль В.Я., Веніков Д. П., Притуляк Я. Г. Розроблення інформаційних моделей та БД для системи автоматизації структурного синтезу з використанням морфологічного методу. *Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць*. Інститут моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України. 2018. Вип. 82. С. 185–192.

9. Теслюк Т., Цмоць І., Опотяк Ю., Теслюк В. Архітектура багаторівневої системи управління енергоефективністю регіону. *Комп'ютерні науки та інформаційні технології: Вісник НУ “ЛП”*. 2017. № 864. С. 201–209.

10. Денисюк П.Ю., Теслюк В.М., Перейма М.Є., Теслюк Т.В. Використання ієрархічних мереж Петрі для моделювання МЕМС. *Науковий Вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 21.17. С. 340–343.

11. Береговський В.В., Теслюк В.М., Денисюк П.Ю., Теслюк Т.В. Методи та моделі автоматизованого проектування системи “Інтелектуального будинку” на базі нейроконтролерів // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2016. – Вип. 26.7, С. 342-349. (Index Copernicus)

12. Теслюк Т. Аналіз динаміки функціонування багаторівневих систем з використанням моделей на основі ієрархічних мереж Петрі. *Науковий Вісник НЛТУ України*. 2018. Том. 28. № 8. С. 149–154. (Index Copernicus)

13. Цмоць І.Г., Батюк А.Є., Яворський А.В., Теслюк Т.В. Система моніторингу технологічних процесів «розумного підприємства». *Комп'ютерні науки та інформаційні технології: Вісник НУ “ЛП”*. 2018. № 887. С. 10–17.

14. Теслюк Т. В., Зелінський А.Я., Угрин Л.Є., Коваль В. Я. Система

розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації з використанням побудови множини оптимальних рішень – Парето. Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць. Інститут моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України. 2018. Вип. 82. С. 148–153.

15. Teslyuk T.V., Tsmots I.G., Teslyuk V.M., Medykovsky M.O. Optimization of the structure of wind power station with the use of the branch and bound method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 2, Issue 8 (86). P. 4–9. (Scopus)

16. Teslyuk V., Beregovskiy V., Denysyuk P., Teslyuk T., Lozynskiy A. Development and Implementation of the Technical Accident Prevention Subsystem for the Smart Home System. *I.J. Intelligent Systems and Applications*, Jan. 2018. Vol. 10, No. 1, P. 1–8. (Scopus)

17. Teslyuk T., Tsmots I., Teslyuk V., Medykovsky M., Opotyak Y. Architecture of the management system of energy efficiency of technological processes at the enterprise. *Proc. of the XII-th Intern. Conf. of Computer Science & Information Technologies 2017 (CSIT'2017)*. Lviv. 2017. P. 429–433. (Scopus)

18. Teslyuk T.V., Tsmots I.H., Teslyuk V.M., Medykovsky M.O., Holovaty A.I. Intelligent components of multilevel system for energy efficiency management in regional economy. *Proc. of the XIV Intern. Conf. on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM'2017)*. Lviv – Polyana., Ukraine. 2017. P. 319–323. (Scopus)

19. Tsmots I., Skorokhoda O., Teslyuk T., Rabyk V. Design Features of Hardware and Software Tools for Intelligent Processing of Intensive Data Streams. *Proceeding of the 2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing, DSMP, 23 - 27 August 2016 Lviv, Ukraine*. 2016. P. 332–335. (Scopus)

20. Tsmots I., Teslyuk T., Opotyak Y. Selection of Hardware Features and Synthesis of Multilevel Control System Components of Energy Efficiency of Production Processes. *MEMSTECH'2018, 18 - 22 April 2018 Polyana, Lviv, Ukraine*. 2018. P. 186–190. (Scopus)

21. Tsmots I., Skorokhoda O., Tsymbal Y., Teslyuk T., Khavalko V. Neural-Like Means for Data Streams Encryption and Decryption in Real Time. *Proceeding of the 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing, DSMP, 21 - 25 August 2018 Lviv, Ukraine*. 2018. P. 438–443. (Scopus)

22. Teslyuk T., Denysyuk P., Savitska O., Kobyliuk Y., Voronyak R. Modeling of Mobile Robot Systems Using Petri Nets. *Proc. of the IX-th Intern. Conf. on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design 2013 (MEMSTECH'2013)*. Lviv: Publisher Lviv Polytechnic Publishing House. 2013. P. 169–171.

23. Denysyuk P., Matviichuk K., Duda M., Teslyuk T., Kobyliuk Y. Technical Support for Mobile Robot System RoboCAD. *Proc. of the XIIth Inter. Conf. On Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, (CADSM'2013)*. Lviv-Polyana, Ukraine. 2013. P.431–432. (Scopus)

24. Denysyuk P., Teslyuk T., Teneta K., Medvid A., Sherstniakova O. An Algorithm of Determining the Direction of Motion of Mobile Robotic System. *Proc. of the IX-th Intern. Conf. on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design 2013 (MEMSTECH'2013)*. Lviv: Publisher Lviv Polytechnic Publishing House. 2013. P. 149–

150.

25. Denysyuk P., Teslyuk T., Beregovskiy V., Cheremisin I., Duda M. Neural Controller of Intelligent Building Climate Control Subsystem on the Basis of a Multilayer Perceptron. Proc. of the VII-th Intern. Conf. of Computer Science & Information Technologies 2012 (CSIT'2012). Lviv: Publisher Lviv Polytechnic. 2012. P. 26–27.

26. Teslyuk T., Denysyuk P., Kernytskyy A., Teslyuk V. Automated Control System for Arduino and Android Based Intelligent Greenhouse. Proc. of the XIth Inter. Conf. on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, (MEMSTECH'2015). Lviv-Polyana, Ukraine. 2015. P. 7–10. (Scopus).

27. Теслюк Т. В., Цмоць І. Г., Медиковський М. О., Машевська М. В., Теслюк В. М. Система автоматизованого синтезу пристроїв на базі мікроконтролерів. Матеріали VIII-ої Українсько-польської науково-практичної конференції “Електроніка та інформаційні технології” (ЕЛІТ-2017), 27-30 серпня 2017. Львів-Чинадієво, Україна. 2017. С. 142–145.

АНОТАЦІЯ

Теслюк Т. В. Методи та засоби збору і опрацювання даних в системах управління енергоефективністю підприємства. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2019.

В дисертаційній роботі розв’язанню важливе наукове завдання – розроблення та вдосконалення методів та засобів, які забезпечують підвищення ефективності збору і опрацювання даних в багаторівневих системах управління енергоефективністю підприємства.

Розроблено моделі для дослідження динаміки функціонування засобів інформаційної технології збору і опрацювання даних в БСУЕП, які за рахунок використання теорії простих, кольорових та ієрархічних мереж Петрі забезпечують прийняття рішення про відповідність функціонування системи згідно з вимогами технічного завдання. Для розв’язання задачі структурного синтезу засобів збору і опрацювання даних в БСУЕП вдосконалено метод, який, на відміну від існуючих, за рахунок врахування інтерфейсів зв’язку між базовими складовими та їх параметрів, вимог технічного завдання та використанню інтегрального критерію забезпечує зменшення апаратно-часових затрат та синтез засобів БСУЕП. Вдосконалено метод безконфліктного обміну даними між складовими БСУЕП, який за рахунок узгодження інтенсивності надходження даних з інтенсивністю доступу до засобів обміну забезпечує визначення мінімальної швидкодії пам’яті для синтезу засобів обміну в реальному. Вдосконалено метод реалізації інтелектуальних засобів опрацювання даних з використанням нейромереж, який ґрунтується на паралельному таблично-алгоритмічному обчисленні скалярного добутку з використанням двох і більше таблиць та забезпечує зменшення часу опрацювання даних.

Ключові слова: інформаційна технологія, кольорові та ієрархічні мережі Петрі, метод синтезу з вказуванням інтерфейсів, метод безконфліктного обміну даними, метод побудови інтелектуальних засобів опрацювання даних.

АННОТАЦИЯ

Теслюк Т. В. Методы и средства сбора и обработки данных в системах управления энергоэффективностью предприятия. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный университет «Львовская политехника», Министерство образования и науки Украины, Львов, 2019.

В диссертационной работе решена важная научная задача - разработка и усовершенствование методов и средств, обеспечивающих повышение эффективности сбора и обработки данных в многоуровневых системах управления энергоэффективностью предприятия (МСУЭП).

Разработаны модели для исследования динамики функционирования средств информационной технологии сбора и обработки данных в МСУЭП, которые за счет использования теории простых, цветных и иерархических сетей Петри обеспечивают принятие решения о соответствии функционирования системы с требованиями технического задания. Для решения задачи структурного синтеза средств сбора и обработки данных в МСУЭП усовершенствован метод, который, в отличие от существующих, за счет учета интерфейсов связи между базовыми составляющими и их параметрами, требований технического задания и использования интегрального критерия обеспечивает уменьшение аппаратно-временных затрат и синтез средств МСУЭП. Усовершенствован метод бесконфликтного обмена данными между составляющими МСУЭП, который за счет согласования, интенсивности поступления данных с интенсивностью доступа к средствам обмена, обеспечивает определение минимального быстродействия памяти для синтеза средств обмена в реальном. Усовершенствован метод реализации интеллектуальных средств обработки данных с использованием нейронных сетей, основанный на параллельном таблично-алгоритмическом исчислении скалярного произведения с использованием двух и более таблиц и обеспечивает уменьшение времени обработки данных.

Ключевые слова: информационная технология, цветные и иерархические сети Петри, метод синтеза с учетом интерфейсов, метод бесконфликтного обмена данными, метод построения интеллектуальных средств обработки данных.

SUMMARY

Teslyuk T. V. Methods and means of data collection and processing in energy efficiency management system of the enterprise. – On the right of manuscript.

Thesis for Ph.D degree on technical sciences in specialty 05.13.06 – information technologies. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2019.

In the dissertation work the important scientific task is solved – development and improvement of methods and means that provide efficiency increasing of data collection and processing in multilevel energy efficiency management systems of the enterprise (MEEMSE).

In the first chapter, information technologies of data collection and processing in

multilevel energy efficiency management systems of the enterprise was analyzed and main directions of hardware and software development for synthesis of data collection and processing systems at the enterprise were established, that allowed to formulate the tasks of the dissertation research.

In the second chapter, the method of synthesis of data collection and processing in energy efficiency management systems of the enterprise was improved, which provides reduction of hardware and time costs from 10 to 40% and synthesis of multi-level systems with high technical and economic indicators by mainstreaming interfaces, requirements of the specification. Method of non-conflict data exchange was built, which provides the definition of minimum memory performance for the synthesis of real-time exchange means by taking into account adjustment of intensity of data flow with intensity of access to means of exchange that reduces the cost of exchange means and energy consumption. Storage and sharing device of the MEEMSE with the industrial network was designed, which provides non-conflict data exchange in real time and increased the number of external devices, that realize many-to-many data model. The method of calculating the signal of post-synaptic excitation of neural elements in artificial neural networks, which is based on the parallel table-algorithmically calculation of scalar product with using two and more tables and provides reduction in two or more times the processing of technological data.

In the third chapter, three-level basic architecture of MEEMSE with variable equipment composition was developed, which has permanent kernel and variable modules with the help of which adaptation of the system to the requirements of a particular enterprise is provided. Models of dynamic analysis of the means functioning of information technology of data collection and processing in multilevel energy efficiency management systems of the enterprise were built. Models based on theory of simple, color and hierarchical Petri nets provide a decision on the conformity of the functioning of the system in accordance with the requirements of the specification. Results of the analysis of developed net were represent in the form of graphs of the reach of states. The obtained results allow us to confirm that all the states are achievable, the network is alive, and dead ends are absent.

In the forth chapter of dissertation work, the structure of information technology of data collection and processing in MEEMSE was developed. The structure, software and information support of synthesis system of means of of information technology of data collection and processing in MEEMSE were built, that allows to automate the synthesis process. The structure, software and technical support of tool of data collection and processing, which uses the model of artificial neural networks and provides the intellectualization of the functions of the device are given. The results of synthesis of data processing tool in MEEMSE and research of dependencies of time costs in the process of solving the problem of structural synthesis were presented.

Key words: information technology, hierarchical and colored Petri nets, synthesis method based on interfaces, method of non-conflict data exchange, method of constructing intelligent data processing means.