

## СИСТЕМА НАПІВНАТУРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ

\*Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, м. Київ, Україна

**Анотація.** Запропоновано новий тип системи напівнатурного моделювання, який відрізняється від існуючих наявністю людино-машинного Smart-інтерфейсу, що підтримує комфортне середовище для користувача за рахунок датчиків різного функціонального призначення й надає широкі можливості для проведення експерименту і інших дій користувача, а також підсистеми перетворювачів і комутаційної схеми, які мають свої функціональні можливості, що в цілому підвищує продуктивність і ефективність системи. Представлено основні компоненти запропонованої системи напівнатурного моделювання і робочого місця експериментатора, а також блок-схему блока перетворювачів і комутаційної схеми. Моделювання застосовується для дослідження спроектованої автоматичної системи з метою з'ясування її надійності, стійкості, чутливості і поведінки при відмові тих чи інших елементів при різних, у тому числі аварійних, впливах. Крім цього, у процесі напівнатурного моделювання вдало поєднуються переваги математичного і натурного моделювання, і може бути досягнута оптимальна взаємодія між обчислювальними і натурними експериментами. Використання комп'ютера з усіма атрибутами створює необхідні передумови для перевірки параметрів у різних межах. Тестова перевірка доповнює весь процес, який дозволяє знайти помилки в обчислювальному процесі. При цьому зміст моделі адекватно відображає безпосередньо сам об'єкт, а послідовне (паралельне) нарощування моделей і їх обробка забезпечують скорочення термінів і вартості випробувань, підвищення надійності та живучості проєктованих об'єктів та інші критерії якості, характерні для напівнатурного моделювання. Також велике значення приділяється застосуванню систем із кільцевими шинами, що багаторазово збільшує продуктивність системи за рахунок розпаралелювання в кожному секторі кільцевої шини.

**Ключові слова:** система напівнатурного моделювання, система з кільцевими шинами, людино-машинний інтерфейс, Smart-інтерфейс, Smart-технології.

**Аннотация.** Предлагается новый тип системы полунатурного моделирования, который отличается от существующих наличием человеко-машинного Smart-интерфейса, поддерживающего комфортную среду для пользователя за счет датчиков различного функционального назначения, предоставляющего широкие возможности для проведения эксперимента и других действий пользователя, а также подсистемы преобразователей и коммутационной схемы, которые имеют свои функциональные возможности, что в целом повышает производительность и эффективность системы. Представлены основные компоненты предлагаемой системы полунатурного моделирования и рабочего места экспериментатора, а также блок-схема блока преобразователей и коммутационной схемы. Моделирование применяется для исследования спроектированной автоматической системы с целью выяснения ее надежности, устойчивости, чувствительности и поведения при отказе тех или иных элементов при различных, в том числе аварийных, воздействиях. Кроме этого, в процессе полунатурного моделирования удачно сочетаются преимущества математического и натурного моделирования, и может быть достигнуто оптимальное взаимодействие между вычислительными и натурными экспериментами. Применение компьютера со всеми атрибутами создает необходимые предпосылки для проверки параметров в различных пределах. Тестовая проверка дополняет весь процесс, который позволяет найти ошибки в вычислительном процессе. При этом содержание модели адекватно отражает непосредственно сам объект, а последовательное (параллельное) наращивание моделей и их обработка обеспечивают сокращение сроков и стоимости испытаний, повышение надежности и живучести проектируемых объектов и другие критерии качества, характерные для полунатурного моделирования. Также большое значение отводится применению

систем с кольцевыми шинами, что многократно увеличивает производительность системы за счет распараллеливания в каждом секторе кольцевой шины.

**Ключевые слова:** система полунатурного моделирования, система с кольцевыми шинами, человеко-машинный интерфейс, Smart-интерфейс, Smart-технологии.

**Abstract.** A new type of semi-natural modeling system is proposed. This type differs from the existing ones by the presence of a human-machine Smart-interface, that maintains a comfortable environment for the user due to sensors of various functional purposes, providing opportunities for conducting experiments and other user actions, as well as a subsystem of converters and switching circuits that have its functionality, which generally improves the performance and efficiency of the system. The main components of the proposed system of semi-natural modeling and the workstation of the experimenter, as well as the block diagram of the block of converters and the switching circuit are presented. Modeling is used to study the designed automatic system in order to determine its reliability, stability, sensitivity and behavior in the event of failure of certain elements, under various, including emergency, effects. In addition, in the process of semi-natural modeling, the advantages of mathematical and natural modeling are successfully combined, and an optimal interaction between computational and natural experiments can be achieved. The use of a computer with all the attributes creates the necessary prerequisites for checking the parameters within various limits. Test verification complements the entire process that allows you to find errors in the computational process, while the content of the model adequately reflects the object itself, and the sequential (parallel) build-up of models and their processing provides the following features: reducing the time and cost of testing, increasing the reliability and survivability of the designed objects and other quality criteria typical for semi-natural modeling. Furthermore, great importance is attached to the use of systems with ring buses, which greatly increases the performance of the system due to parallelization in each sector of the ring bus.

**Keywords:** semi-natural modeling system, ring bus system, human-machine interface, Smart-interface, Smart-technologies.

DOI: 10.34121/1028-9763-2020-3-105-114

## 1. Вступ

Розробка і реалізація в найкоротші терміни конкурентоспроможних проектів нового покоління можливі сьогодні з застосуванням систем комплексних технологічних рішень на основі Smart-технологій, однією із ключових особливостей яких є використання моделювання, в тому числі і напівнатурного.

Існуючі системи, які містять підсистеми напівнатурного моделювання, за функціональним призначенням застосовують Smart-технології, підбирають можливі рішення для різних наборів параметрів, що змінюються, за допомогою моделювання визначають передбачувану смугу пропускання, яка необхідна для розгортання комунікаційного Smart-сервісу, і виконують аналіз, принаймні, одного варіанта рішення для оцінки впливу параметрів, що змінюються [1–3].

Напівнатурне моделювання – це моделювання з реальною апаратурою, при якому частина системи моделюється, а інша частина є реальною. Поряд з реальною апаратурою в замкнуту модель можуть входити імітатори впливів і завад, моделі зовнішнього середовища і процесів, точний математичний опис яких невідомий [4–7]. Напівнатурне моделювання вдало поєднує переваги математичного і натурного моделювання і спроможне досягнути оптимальної взаємодії між обчислювальними і натурними експериментами.

У випадку проектування автоматичної системи метою моделювання є вибір структури й параметрів окремих пристроїв, що відповідають вимогам до функцій, які вона виконує, і заданим показникам якості її роботи. Моделювання застосовується також для дослідження спроектованої автоматичної системи з метою з'ясування її надійності, стійкості, чутливості і поведінки при відмові тих чи інших елементів, при різних впливах, у тому числі збурюючих.

Методи напівнатурного моделювання займають свою особливу нішу при проектуванні складних систем управління. Зазвичай розуміння ролі цих методів зводиться до такого: якщо математичне моделювання найбільш ефективно на ранніх стадіях проектування, натурне – на заключних, то напівнатурне моделювання пов'язує із проміжними стадіями.

Отже, особливістю напівнатурних методів моделювання є можливість детального дослідження режимів роботи системи. За допомогою моделі генератора зовнішнього керуючого діяння і фізичної моделі критичного елемента ці режими можуть бути досліджені в усьому діапазоні можливої зміни частини параметрів зовнішнього діяння, чого не завжди можна досягти натурними експериментами. У разі, якщо для вирішення завдання повинен бути використаний критичний елемент системи, виникає об'єктивна необхідність включення у функціональну схему його напівнатурних моделей.

Система [1] моделює мережеві сервіси інтелектуальної мережі зв'язку, використовуючи змінні параметри бізнесу і технології, моделі, що описують профілі трафіка для доменних пристроїв інтелектуальної мережі та інфраструктуру інтелектуальної мережі Smart-застосувань, а також модель витрат.

Незважаючи на те, що застосування може значно підвищити ефективність і знизити витрати в довгостроковій перспективі, сам перехід на інтелектуальну мережу не є однозначним, потрібна попередня оцінка витрат на модернізацію. Наприклад, енергетичні компанії можуть зіткнутися з такими питаннями, яким чином існуючі і нові технології вплинуть на інфраструктуру дротових і бездротових мереж, необхідну для інтелектуальної мережі; яка смуга пропускання, включаючи бездротовий спектр, буде потрібна для підтримки бізнесу в майбутньому та ін.

Розподілена адаптивна вимірювальна мережа [2] може керувати великомасштабними фізичними процесами за допомогою сенсорних або виконавчих вузлів, що виконують протягом часу численні вимірювання показників, таких як температура, водневий показник, щільність, швидкість та ін. Сенсорний або виконавчий вузол використовує взаємозамінні модулі загального ядра, кожен з яких, у свою чергу, застосовує загальний опис для конфігурації даних і управління параметрами вимірювання і відгуку. Мережа також може містити системні перетворювачі, які контролюють або змінюють вихідні параметри вимірювання і відгуку. До недоліків відноситься велика вартість заміни перетворювачів.

У [3] описано систему, яку можна використовувати для інтелектуального сервісу (в Smart-будинках, Smart-містах, Smart-автомобілях, охороні здоров'я, електронному освітленні, роздрібній торгівлі, системах безпеки), що заснована на Smart-технології. Метод передачі даних у системі зв'язку включає генерацію хеш-значення при застосуванні хеш-функції до вихідних даних; створення повідомлення, яке включає як мінімум хоча б одне з вихідних даних і згенероване хеш-значення, засноване на тому, чи збігається існуюче хеш-значення із згенерованих хеш-значень і повідомлень, які передаються.

До недоліків даної системи відноситься спосіб передачі даних, оскільки на приймальній стороні для ідентифікації цілі аналіз отриманих даних відбувається на всьому масиві згенерованих даних без його мінімізації, що призводить до зайвих витрат і роботи каналу передачі даремно. Крім того, такі проблеми експоненціально збільшуються через розвиток Інтернету речей і пристроїв.

*Метою роботи* є розробка системи напівнатурного моделювання, яка відрізняється від існуючих наявністю людино-машинного Smart-інтерфейсу, що підтримує комфортне середовище для користувача за рахунок датчиків різного функціонального призначення і надає широкі можливості для проведення експерименту та інших дій користувача, а також підсистеми перетворювачів і комутаційної схеми, які мають свої функціональні особливості, що в цілому підвищує продуктивність і ефективність системи.

## 2. Основний матеріал

У [4] описана структурна схема системи, основні компоненти якої наведено на рис. 1, за сукупністю рішень прийнята авторами даної роботи як опорна при розробці структури системи напівнатурного моделювання.



Рисунок 1 – Основні компоненти системи напівнатурного моделювання

Основні компоненти системи містять випробувальний стенд (ВС), з якого подаються сигнали на об'єкт, що досліджується; сам досліджуваний об'єкт (ДСО), до складу якого входять різні датчики; підсистему інформаційних датчиків (ПІД), яка включає засоби знімання інформації з датчиків; вимірювальні схеми (ЦАП, цифровий пристрій введення–виведення та ін.); контролер управління експериментом (КУЕ) і головний компонент (Комп) – комп'ютер з усіма атрибутами: операційною системою, пакетом прикладних програм для користувача, підсистемою бази знань і бази даних та іншими програмними компонентами, а також підсистемою підтримки цілісності.

Система працює таким чином. КУЕ формує моделі об'єктів, які передаються через випробувальний стенд на об'єкт, де розташовані різні датчики, створюючи умови для роботи системи і, зокрема, експериментатора, а потім, через контролер управління експериментом повертаються на комп'ютер, перевіряючи на всіх діапазонах датчиків досягнення оптимізації. Отримавши дані про роботу системи в цілому, КУЕ видає управляючі сигнали, що надходять на всі блоки, згідно з алгоритмом взаємодії блоків.

При цьому випробувальний стенд отримує збурення для деякої кількості параметрів, організованих, як правило, в мережі за типами вихідних сигналів із метою заміни натурних об'єктів на інтелектуальні моделі (або модель). Підсистема інформаційних датчиків (ПІД) видає ці сигнали на вимірювальні схеми (ВМС), перетворюючи їх в аналогові сигнали, які безпосередньо беруть участь у напівнатурному моделюванні. При цьому велике значення приділяється засобам людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ), який створює комфортні умови для експериментатора, а також скорочує час проектування і зменшує кількість помилок при проектуванні.

Авторами запропонована система напівнатурного моделювання із застосуванням Smart-технологій, основні компоненти якої представлено на рис. 2 [5]. На рисунку, через труднощі читання, вказана тільки частина зв'язків у вигляді стрілок.

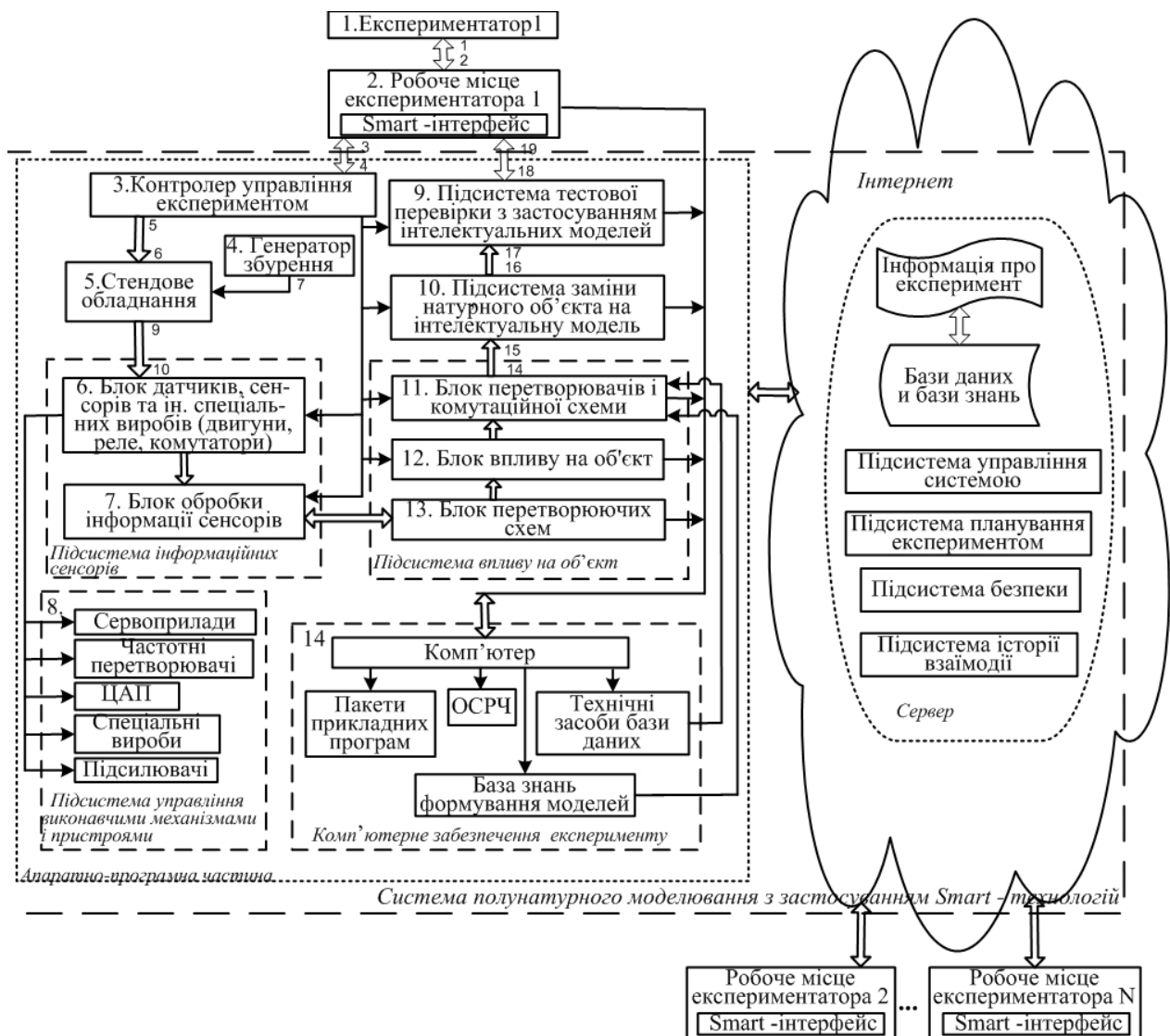


Рисунок 2 – Основні компоненти системи напівнатурного моделювання застосуванням Smart-технологій

Система складається із двох частин: апаратно-програмної і сервера. Апаратно-програмна включає: 2 – засоби інтелектуального людино-машинного інтерфейсу, виконаного з застосуванням Smart-формування моделей, які замінюють натурні об'єкти відповідно до черговості технологій; 3 – контролер управління експериментом; 4 – генератор збурення; 5 – стендове обладнання; підсистема інформаційних сенсорів із входними в неї: 6 – блоком датчиків, сенсорів і інших спеціальних виробів (двигуни, реле комутатори та ін.) і 7 – блоком обробки інформації сенсорів; 8 – підсистема управління виконавчими механізмами і пристроями; 9 – підсистема тестової перевірки з застосуванням моделей; 10 – підсистема заміни натурального об'єкта на інтелектуальну модель; підсистема впливу на об'єкт із входними в неї компонентами; 13 – блоком перетворювальних схем; 14 – комп'ютерне забезпечення експерименту: 11 – блоком перетворювачів і комутаційної схеми; 12 – блоком впливу на об'єкт моделей і деяких інших функцій [11, 12], включаючи спеціалізовану базу даних для обліку натурних

об'єктів, а також всієї інформації, необхідної для роботи системи; і спеціалізовану базу знань, необхідну для формування моделей, які замінюють натурні об'єкти відповідно до черговості створення моделей і деяких інших функцій [11, 12].

Сервер включає підсистему управління системою, підсистему планування експерименту, підсистему безпеки, підсистему історії взаємодій, бази даних і бази знань.

Основний принцип роботи системи засновано на послідовній ітерації взаємозамінності компонентів реального об'єкта на інтелектуальні моделі [8, 9]. При цьому використовується кількість інтелектуальних моделей спільно з натурними компонентами, необхідна і достатня для отримання позитивного результату (зниження вартості розробки, скорочення часу розробки, підвищення надійності системи і недопущення помилок при проектуванні) [13, 14]. Також велике значення приділяється застосуванню систем із кільцевими шинами, що багаторазово збільшує продуктивність системи за рахунок розпаралелювання в кожному секторі кільцевої шини.

Людино-машинний Smart-інтерфейс, у подальшому по тексту Smart-інтерфейс, підтримує комфортне середовище для користувача, в даному випадку, експериментатора, за рахунок датчиків різного функціонального призначення.

Також він надає можливості для проведення експерименту та інших дій користувача, в тому числі і для дистанційного навчання. Засоби Smart-інтерфейсу (2) (рис. 2) запускають із виходів 3 на входи 4 контролера управління експериментом (3). Далі контролер управління експериментом формує керуючі сигнали, що надходять на відповідні входи всіх блоків системи (на засоби датчиків і комп'ютерів відповідні зв'язки керуючих сигналів не показано).

Контролер управління експериментом із виходів 5 на входи 6 стендового обладнання (5) діє на досліджуваний об'єкт, а також запускає генератор збурення (4). Він запускає збурюючі фактори, які на входах 8 реалізують збурення, виконуючи тим самим напівнатурне моделювання у вигляді процедури над натурним об'єктом або над відповідною моделлю, яка адекватно відображає натурний об'єкт.

З виходу 11 блока датчиків, сенсорів та ін. (6) підключений набір сукупності датчиків підсистеми управління виконавчими механізмами і пристроями (8), при цьому утворюючи локальні мережі за ознаками типів вихідних сигналів. З виходу 12 блока обробки інформації сенсорів (7) надходять сигнали на входи 13 блока перетворювальних схем (13) підсистеми впливу на об'єкт. А далі – на блок впливу на об'єкт (12), з виходу якого надходять сигнали на блок перетворювачів і комутаційної схеми (11). При цьому засоби впливу на об'єкт передбачають моделі відповідно до черговості їх створення, на відміну від засобів підсистеми управління об'єктом (5), де мова йде тільки про створення набору моделей.

З виходу 14 блока перетворювачів і комутаційної схеми (11) на входи 15 засобів підсистеми заміни натурального об'єкта на інтелектуальну модель (10) надходять відповідні сигнали, що визначають засоби заміни натурального об'єкта на інтелектуальні моделі. І наприкінці, з виходу 16 (10) сигнали надходять на вхід 17 засобів підсистеми тестової перевірки (9) із застосуванням інтелектуальних моделей.

На рис. 3 представлена блок-схема блока перетворювачів і комутаційної схеми. Дані для організації системи, а також для зберігання натурних компонентів надходять на перші входи системи блока 25 технічної спеціалізованої підсистеми бази даних, які підключені до відповідних входів блока службових функцій (БСФ) і блока формування конфігурації системи (БСК) [5].

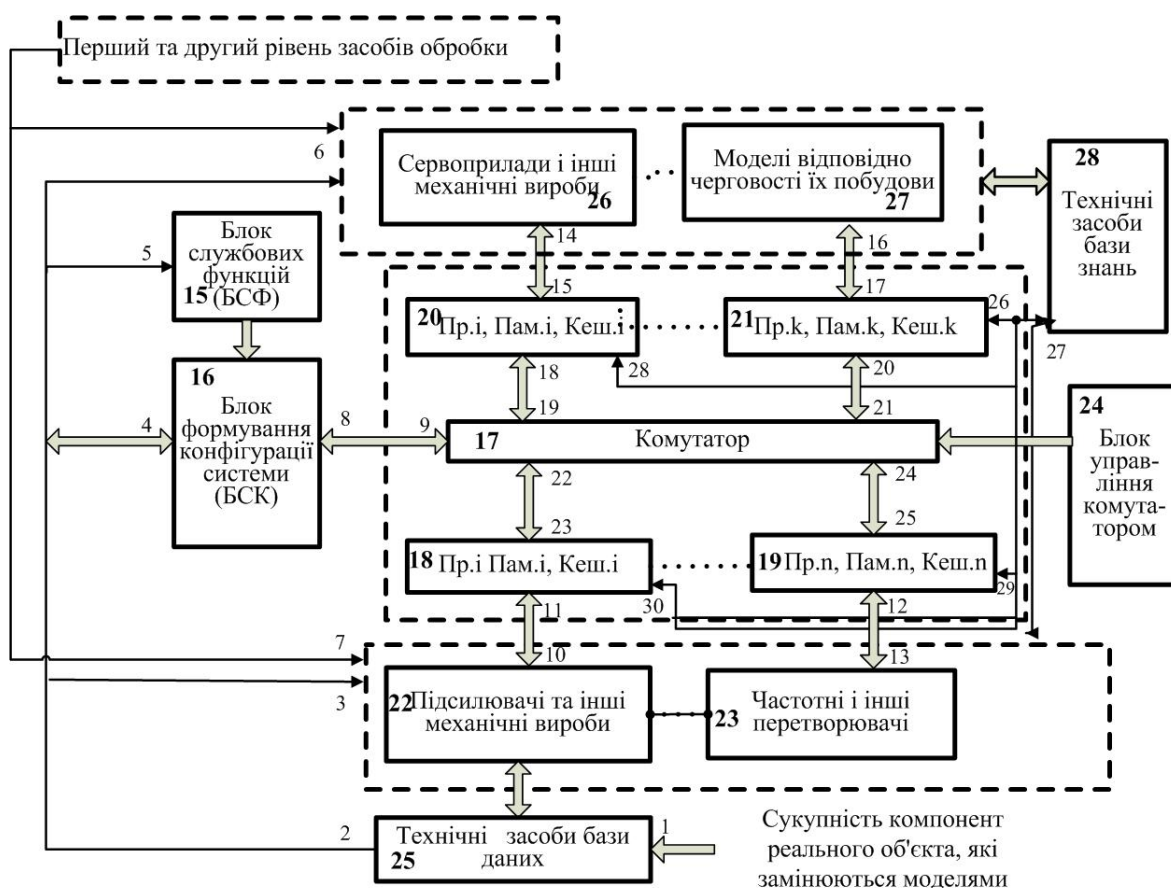


Рисунок 3 – Блок-схема блока перетворювачів і комутаційної схеми

БСФ забезпечує паралельну або послідовну реалізацію системи, підключаючи комутатор, що працює за принципом «кожен – з кожним», а БСК при цьому забезпечує кінцеву мету оптимізації – скорочення часу і вартості розробки, захист від помилок при проектуванні та інші критерії проектування.

При цьому кожен процесорний елемент ( $Пр_i$ ) зі своєю пам'яттю ( $Пам_i$ ) і зі своїми кешами ( $Кеш_i$ ) може обмінюватися інформацією з усіма іншими процесорними елементами (через входи-виходи (18–25) під дією керуючих сигналів 26–30, що надходять із технічної спеціалізованої підсистеми бази знань (28). Комутатор 17 вибирає напрям за входами 19, 22, 21, 24 комутації, а за входами-виходами 8, 9 реалізує цей напрям (рис. 3). База знань формує перелік інтелектуальних моделей відповідно до черговості їх використання, що вносить у процес оптимізації позитивні ефекти.

Комутаційна схема реалізована з використанням модифікованого варіанта кільцевої шини, розділеної за допомогою секторних роздільників на  $n$  секторів із підключеними до кожного сектора секторними наборами разом із банками пам'яті (БП) і процесорними елементами. Секторні роздільники призначені для передачі даних і керуючих сигналів попереднього сектора кільцевої шини на наступний сектор через відповідні входи/виходи секторного роздільника як за годинниковою, так і проти годинникової стрілки.

При відповідному значенні коду управляючого сигналу на управляючому вході секторного роздільника передача інформації по кільцевій шині через секторний роздільник заборонена, тим самим є можливість блокування обраного сектора кільцевої шини із двох сторін, забезпечуючи обробку даних відповідним секторним набором незалежно від інших.

Блокування за допомогою секторних роздільників кожного сектора кільцевої шини від впливу інших секторів, що залишилися, дозволяє реалізацію паралельних обчислень у секторних наборах заблокованих секторів і забезпечує одночасну роботу всіх секторних

наборів, що дає можливість розпаралелювати алгоритм у кожному секторі кільцевої шини і тим самим забезпечувати багаторазове прискорення продуктивності.

Крім того, два сусідніх секторних роздільники виділяють сектор кільцевої шини, довжина якого менше довжини всієї кільцевої шини в  $n$  раз, де  $n$  – кількість секторів. При цьому зменшується ємнісне навантаження на секторну частину кільцевої шини.

На рис. 4 представлено основні компоненти робочого місця експериментатора.

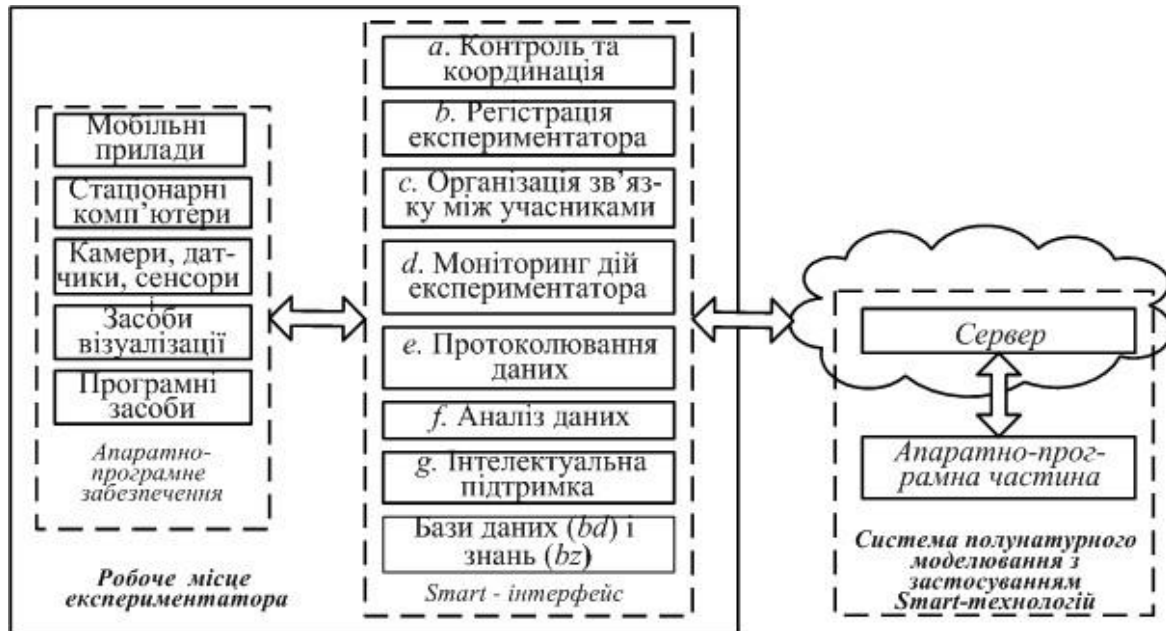


Рисунок 4 – Основні компоненти робочого місця експериментатора

До його складу входить комплекс датчиків, сенсорів та ін. програмних і апаратних засобів, які фіксують зміни в зовнішньому середовищі, а інформація надходить на Smart-інтерфейс, що дозволяє створювати і підтримувати комфортне середовище для конкретного експериментатора [13].

Особливістю пропонованого Smart-інтерфейсу є гнучка адаптація системи до експериментатора і зовнішнього середовища, а також експериментатора до системи за рахунок методів і засобів інтелектуалізації кожної підсистеми і самого інтерфейсу в цілому. Набір функціональних можливостей у Smart-інтерфейсі може бути різний залежно від завдань користувачів.

Smart-інтерфейс дозволяє працювати з системою одночасно декільком користувачам як експериментатору, що проводить експеримент безпосередньо зі стендовим обладнанням, так і іншим користувачам, які можуть перебувати на різних відстанях від місця експерименту, виконувати свої завдання. Це можуть бути й інші експериментатори, і конструктор, і програміст, що вносять поправки, і студент, який навчається дистанційно.

Експериментатор за допомогою інтерфейсу має можливість повідомляти інших учасників експерименту про поточний експеримент, виявлення критичних ситуацій та ін. Також отримувати від інших учасників інформацію про об'єкт і виводити її на різні системи візуалізації, стежити за ходом експерименту.

Вхід у систему виконується за допомогою біометричної аутентифікації, що надає можливість користувачам без затримок входити в систему. Дані про стан експериментатора збираються шляхом спостереження за його діями, виразом обличчя. Після аутентифікації Smart-інтерфейс встановлює оптимальну конфігурацію системи для конкретного експериментатора і надалі спостерігає за його станом; також включає



інтелектуальні засоби підтримки, при необхідності пропонує допомогу при проведенні експерименту.

Smart-інтерфейс запускає засоби автоматичного ведення журналу протоколювання та обробки отриманих у ході моделювання результатів експерименту, які потім зберігаються в базі даних системи. Smart-інтерфейс робить аналіз інформації, що вводиться експериментатором для мінімізації помилок. Експериментатор має можливість створювати дані, вибирати вихідні дані з бази даних для проведення експерименту. Smart-інтерфейс запускає засоби для подальшого аналізу результатів, а також дій експериментатора, у критичних ситуаціях попереджаючи його про небезпеку, а іноді блокуючи його дії.

Підсистеми Smart-інтерфейсу працюють під управлінням підсистеми контролю та координації (*a*) з використанням штучного інтелекту. Реєстрацію/аутифікацію користувача і регламентацію допуску до роботи з системою виконує підсистема реєстрації експериментатора (*b*). Підтримку мобільного зв'язку між користувачами надає підсистема підтримки зв'язку між учасниками (*c*). Всі дії експериментатора, як і зміни, що відбуваються у зовнішньому середовищі, збираються підсистемою моніторингу дій експериментатора (*d*). Результати фіксуються в підсистемі протоколювання даних (*e*). Аналіз інформації, що вводиться експериментатором, виконує підсистема аналізу інформації (*f*). Допомогу здійснює підсистема інтелектуальної підтримки (*g*). База знань (*bz*) містить інформацію, необхідну для реалізації роботи підсистем інтерфейсу, які працюють із використанням методів штучного інтелекту, а база даних (*bd*) – всі необхідні дані для роботи підсистем інтерфейсу.

### 3. Висновки

Таким чином, запропонована система напівнатурного моделювання з застосуванням Smart-технологій, яка відрізняється тим, що, завдяки використанню спеціалізованих технічних засобів, забезпечується скорочення термінів проектування, зменшення кількості помилок при проектуванні, зниження вартості розробки, підвищення надійності та інші характерні для напівнатурного проектування критерії якості.

При цьому велике значення надається сукупності об'єднаних у мережі датчиків, які спільно зі збудженням відповідного генератора створюють комфортні умови для користувача. Мета моделювання при проектуванні – вибір структури і параметрів окремих пристроїв автоматичної системи, що відповідають вимогам до функцій, які вона виконує, і заданим показникам якості її роботи. Моделювання застосовується також для дослідження спроектованої автоматичної системи з метою з'ясування її надійності, стійкості, чутливості і поведінки при відмові тих чи інших елементів при різних (у тому числі аварійних) впливах.

При цьому застосування систем із кільцевими шинами забезпечує багаторазове прискорення продуктивності системи за рахунок розпаралелювання алгоритму в кожному секторі кільцевої шини.

### СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Parmar V. (Raleigh, NC), Talavera G. (Miami Beach, FL). Smart grid deployment simulator: Pat. 8, 868, 452 USA, G06Q 10/00 (20120101). Accenture Global Services Limited (Dublin). 21.10.2014. 53 p.
2. Eidson J.C., Dara-Abrams J.A., Woods S.P. Smart distributed measurement and control system with a flexible architecture: Pat. 5,586,305 USA, G06F 13/00; G06F 17/00. Hewlett-Packard Company, 17.12.1996. 15 p.
3. Kyounghan P., Soonhyung G., Heedong K., Jongwoo L., Dongyun H., Junhyung K. Method and apparatus for transmitting and receiving data in communication system: Pat. 10, 050, 881 USA, H04L 45/7453; H04W 4/005. 14.08.2018. 33 p.

4. Яковлев Ю.С., Тимашов О.О. Принципы организации и применения полунатурного моделирования. *Математичні машини і системи*. 2019. № 2. С. 80–89.
5. Палагін О.В., Яковлев Ю.С., Боюн В.П. Интеллектуальна розподілена система пам'яті з секціонованими модулями на ПЛС: пат. № 119772 Україна: G06F 13/42 (2006.01); заявл. 03.04.2017; опубл. 10.10.2017; Бюл. № 19. 11 с.
6. Характеристика проблем и методов моделирования объектов. URL: <https://poznayka.org/s22170t1.html> (дата обращения: 27.12.2019).
7. Глава 2. Интеллектуальные системы. URL: [http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos13\\_GL/2.html](http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos13_GL/2.html) (дата обращения: 27.12.2019).
8. Буданов П.Ф., Бровко К.Ю., Сахно М.Ю. Анализ современного состояния и перспективы развития автоматизированных систем по подготовке оперативного персонала АЭС. *Системи обробки інформації*. 2012. Вип. 9 (107). С. 263–269.
9. Грибова В.В., Клещев А.С. Процессы управления интеллектуальными системами. *Ontology of Designing scientific journal*. 2011. Т. I. С. 22–31.
10. Рассказников Н.Г. Компьютерные системы управления: учебн. пособ. Владимир: изд-во Владимирского государственного университета, 2010. 155 с.
11. Михно Н. Способы построения реконфигурируемых компьютерных систем на элементах автоматной памяти. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Транспортні системи і технології*. 2011. Вип. 19. С. 146.
12. Остроух А.В. Интеллектуальные системы. Красноярск, 2015. 110 с.
13. Яковлев Ю.С., Курзанцева Л.И. Основные функции и состав обучающей Smart-системы и пользовательского интерфейса. *Математичні машини і системи*. 2018. № 2. С. 56–71.
14. Глава 2. Интеллектуальные системы. URL: [http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos13\\_GL/2.html](http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos13_GL/2.html) (дата обращения: 27.12.2019).

*Стаття надійшла до редакції 20.08.2020*