



Веселовська Н. Р.

Вінницький  
національний  
аграрний  
університет

УДК 621.9:62-755

## ПОДІЙНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ГРАФО-АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС ЕЛЕМЕНТІВ ГНУЧКИХ ІНТЕГРОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

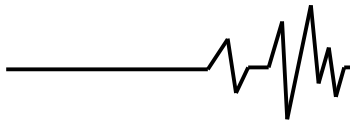
*В работе предложен принципиально новый подход для описания гибких компьютерно интегрированных систем с помощью системы событийного моделирования Simulink-Stateflow. Система позволяет создавать и моделировать системы со сложным поведением, работающие как конечный автомат.*

*On principle new approach is in-process offered for description flexible computer integrated system design of Simulink-Stateflow. The system allows to design the systems with a complex conduct, work as an final automat.*

**Вступ.** Новизна гнучкої концепції полягає в тому, що їй притаманно не стільки потоковий спосіб організації виробництва, скільки централізований, такий, що передбачає якомога повнішу, завершену обробку деталей на одній робочій позиції, на одному верстаті, на одній робочій машині. Потокова технологія, в основі якої закладена диференціація процесу обробки деталей на численні операції і переходи, що виконуються на різних верстатах, у зв'язку з прискоренням науково-технічного прогресу втратила свої економічні переваги, оскільки продукція стала значно складніша і її асортимент став змінюватися частіше. Деталі стали більше пролежувати між верстатами, виросли заділи і допоміжні операції. Наприклад, деталь повністю оброблялася на п'яти верстатах, що спричиняло за собою п'ятикратне завантаження (розвантаження) деталі на верстат, збільшення часу міжопераційного транспортування і очікувань. Це ускладнювало управління і приводило до дорожчання виробництва. На сучасному етапі це проблема вирішена за допомогою використання універсальних багатопільових верстатів, які об'єднані у гнучкі комп'ютерно-інтегровані верстатні системи. При цьому за допомогою сучасного програмного забезпечення при прийнятті відповідного

рішення деталей повністю може бути оброблена або на одному верстаті з одним завантаженням-розвантаженням, за одну операцію і, отже, без міжопераційного транспортування, без простоїв і очікувань, або в системі [1-7].

Суть концепції гнучкого виробництва полягає в тому, що вона дозволяє переходити з випуску одного виробу на випуск іншого виробу практично без переналагодження технологічного і будь-якого іншого обладнання; якщо ж в якихось випадках і потрібне переналагодження, то вона здійснюється одночасно з випуском попереднього виробу. Застосування ЕОМ в управлінні гнучким виробництвом дозволяє здійснювати комплексний підхід до автоматизації всіх видів робіт і процесів — від заготівки (опрацювання завдання на виробництво нового виробу, конструкторських та розрахункових робіт, технологічної підготовки виробництва, всього комплексу технологічних процесів) до упаковки і відправки виробу споживачеві. Важливішим стає управління. Замовлення-наряди на роботу, виробничі програми і графік проходження компонентів по всьому технологічному маршруту — все це знаходиться в центральній ЕОМ, що управляє, і ЕОМ підсистем всього виробництва. Кожна



ЕОМ має мережу зв'язаних компонентів, які управляють окремими технологічними операціями та веде облік фактичного виконання операцій, здійснює стеження за процесом. Це, звичайно, не означає, що сама технологія перестає бути важливим елементом в таких системах, але слід підкреслити, що справжній успіх гнучкого виробництва досягається завдяки організації виробництва. Більшість діючих гнучких систем автоматизують якийсь один технологічний процес: механічну обробку, зварку, забарвлення, збірку. Як правило, ці системи включають автоматизовані на базі ЕОМ конструювання деталей, технологічну підготовку і планування виробництва. Впровадження в інженерну практику методів автоматизації проектування дозволяє перейти від традиційних методів проектування до моделювання за допомогою CAD/CAM/CAE на персональних комп'ютерах[8-11].

Математичні пакети є складовою частиною миру CAE-систем, але ця частина є далеко не другорядною, оскільки деякі завдання взагалі неможливо вирішити без допомоги комп'ютера. Сучасні математичні пакети можна використовувати і як звичайний калькулятор, і як генератор графіки або навіть звуку, вони стали стандартними засобами взаємодії з Web і генераціями HTML- сторінок.

STATEFLOW - інструмент для чисельного моделювання систем, що характеризуються складною поведінкою. До таких систем належать гібридні системи. Прикладами гібридних систем можуть служити системи управління, використовувані в промисловості (автоматизовані технологічні процеси), в побуті (складні побутові прилади), у військової області (високотехнологічні види озброєнь), у сфері космонавтики, транспорту і зв'язку. Всі ці системи складаються з аналогових і дискретних компонентів. Тому гібридні системи - це системи із складною взаємодією дискретної і безперервної динаміки. Вони характеризуються не лише безперервною зміною стану системи, але і стрибкоподібними варіаціями відповідно до логіки роботи підсистеми, що управляє, роль якої як правило виконує те або інший обчислювальний пристрій (кінцевий автомат). У тому випадку, коли логіка роботи підсистеми, що управляє, є жорсткою, а зовнішні умови відносно стабільні, говорять про трансформаційні системи. Для таких систем фази отримання інформації, її обробки і видачі вихідних сигналів чітко розмежовані. На момент звернення до системи всі вхідні сигнали визначені. Сигнали на виходах утворюються після деякого періоду обчислень. Обчислення

виробляються по деякому алгоритму, що трансформує вхідний набір даних у вихідний (рис.1).

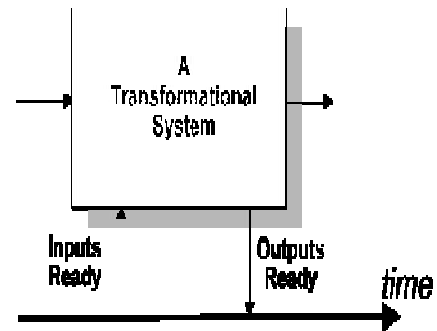


Рис. 1. Трансформаційна система

У протилежному випадку систему відносять до класу керованих подіями або реактивних (рис.2). Реактивна - це така динамічна система, яка сприймає зовнішні дискретні дії і відповідає своїми реакціями на ці дії. Причому реакції системи різні і самі залежать як від дій, так і від стану, в якому система знаходиться. Основна відмінність реактивних систем від трансформаційних - в принциповій непередбачуваності моментів надходження тих або інших дій. Ця непередбачуваність - наслідок мінливості умов, в яких такі системи працюють.

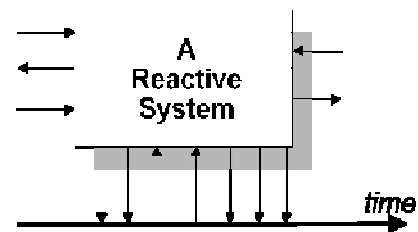
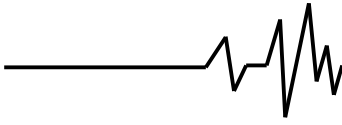


Рис. 2. Реактивна система

Останні десятиліття характеризуються повсюдним поширенням реактивних систем. Тому відповідно до зміни навколишнього світу міняються і підходи до його аналізу. Моделювання фізики технологічних процесів (безперервна складова поведінки системи) доповнюється моделюванням логіки роботи керівників ними пристроїв (дискретна компонента). Математичний апарат опису в даному випадку - це система рівнянь, але не диференціальних, а диференційно-алгебраїчно-логічних, для яких відсутня струнка теорія і єдиний підхід. Так само і з наочністю. Візуалізація протікання фізичних процесів забезпечувалася графіками зміни в часі тих або



інших величин, але таке графічне представлення процесів в реактивних системах невіддале. Основними причинами цього є багатократне зростання кількості величин, що відображуються, і відсутність на графіках інформації про причинно-наслідкові зв'язки між змінними стану, що змінюються. В даний час для моделювання дискретної динаміки реактивних систем широко використовується запропонований Д. Харелом візуальний формалізм - Statechart (діаграми станів і переходів). Основні неграфічні компоненти таких діаграм - це подія і дія, основні графічні компоненти - стан і перехід. Подія - щось, що відбувається поза даною системою, можливо вимагаючи деяких у відповідь дій. Події можуть бути викликані надходженням деяких даних або деяких задаючих сигналів з боку людини або деякій іншій частині системи. Події вважаються миттєвими (для вибраного рівня абстрагування). Дії - це реакції модельованої системи на події. Подібно до подій, дії прийнято вважати миттєвими. Стан - умови, в яких модельована система перебуває деякий час, протягом якого вона поводить себе однаковим чином. У діаграмі переходів стану представлені прямокутними полями з кутами, що округляють. Перехід - зміна стану, що зазвичай викликається деякою значною подією. Як правило, стан відповідає проміжку часу між двома такими подіями. Переходи показуються в діаграмах переходів лініями із стрілками, вказуючими напрям переходу. Кожному переходу можуть бути зіставлені умови, при виконанні яких перехід здійснюється. З кожним переходом і кожним станом можуть бути співвіднесені деякі дії. Для запобігання ефекту зростання складності при моделюванні великих систем були запропоновані подальші удосконалення. Разом із станами тепер можуть використовуватися гіперстани (суперстани), об'єднуючі декілька станів, що мають ідентичну реакцію на одну і ту ж подію. При цьому замість зображення таких переходів в те, що деяке складається зі всіх станів, що охоплюються гіперстаном, зображається лише один перехід з гіперстану у вказаний стан (узагальнення переходів). Гіперстани теоретично можуть мати довільну глибину вкладення. Переходи з гіперстану пов'язані зі всіма рівнями вкладення. Гіперстани можуть об'єднувати або-стани (послідовні стани) і і-стани (паралельні стани). У першому випадку, перейшовши в гіперстан, система може знаходитися лише в одному із станів. У другому випадку система, перейшовши в гіперстан, перебуватиме одночасно в декількох станах. Діаграми станів і переходів в даний час широко

використовуються для моделювання складних систем. Досить згадати уніфіковану мову моделювання (Unified Modeling Language (UML)), одним з елементів якого є діаграми станів і мова "Графсет", яка використовується при програмуванні логічних контролерів систем автоматизації. Істотно підвищує ступінь наочності моделі використання імітації, що відображує зміни в системі, що супроводжуються переходами від одного стану до іншого [12-15].

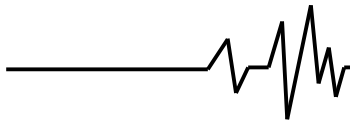
Побудова таких імітаційних моделей можлива з використанням програм Stateflow і Simulink що входять до складу пакету MATLAB. MATLAB забезпечує доступ до різних типів даних, високорівневого програмування і інструментальних засобів візуалізації. Simulink підтримує проектування безперервних і дискретних динамічних систем в графічному середовищі (у вигляді блок-схем). Stateflow - діаграми, що використовують візуальний формалізм Д. Харела, включаються в Simulink - моделі, аби забезпечити можливість моделювання процесів, керованих подіями. Stateflow забезпечує ясний опис поведінки складних систем, використовуючи діаграми станів і переходів.

Комбінація **MATLAB-SIMULINK-STATEFLOW** є потужним універсальним інструментом моделювання реактивних систем. Додаткова можливість стежити в режимі реального часу за процесом виконання діаграми шляхом включення режиму анімації робить процес моделювання реактивних систем по-справжньому наочним.

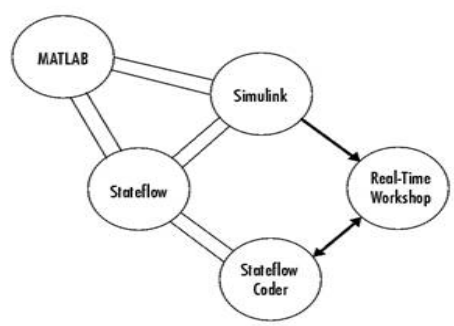
Stateflow - потужний графічний інструмент проектування і моделювання комплексних систем локального управління і супервізорного логічного контролю. Використовуючи Stateflow, можна:

1. Візуально моделювати комплексні реактивні системи.
2. Проектувати детерміновані системи супервізорного управління.
3. Легко змінювати проект, оцінювати результати змін і досліджувати поведінку системи на будь-якій стадії проекту.
4. Автоматично генерувати програмний код (цілочисельний або із плаваючою точкою) безпосередньо за проектом (для цього потрібний Stateflow Coder).
5. Користуватися перевагами інтеграції з середовищами MATLAB і Simulink в процесі моделювання і аналізу систем.

Stateflow дозволяє використовувати діаграми потоків (flow diagram) і діаграми станів



і переходів (state transition) в одній діаграмі Stateflow. Система позначень діаграми потоків - ефективний спосіб представити загальну структуру програмної коди як конструкцію у вигляді умовних операторів і циклів (рис.3).



**Рис. 3. Програмне середовище Stateflow**

- Stateflow складається з наступних компонентів:
- Stateflow graphics editor - графічний редактор
- Stateflow Explorer - провідник
- Stateflow Coder -генератор об'єктної коди
- Stateflow Debugger - відладчик
- Stateflow Dynamic Checker -динамическое перевірючий пристрій.

При проектуванні моделей реактивних систем Stateflow використовується разом з Simulink і за бажанням - з RTW (Real-Time-Workshop - майстерня реального часу) під управлінням MATLAB]. При цьому можливе проектування моделі, починаючи з Stateflow (що управляє) частини, а пізніше компонування моделі Simulink, або навпаки.

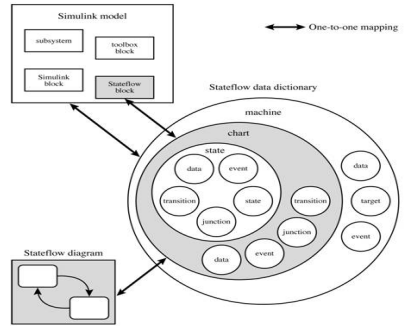
Отже, основні варіанти використання:

Використовують Stateflow разом з Simulink для моделювання.

Використовують Stateflow, Stateflow кодер, Simulink, і майстерню реального часу, аби генерувати цільовий код для закінченої моделі.

Використовують Stateflow і Stateflow кодер, аби генерувати цільовий код для Stateflow машини.

Stateflow машина - сукупність Stateflow блоків в моделі Simulink. Simulink модель і Stateflow машина працюють спільно. Запуск моделювання автоматично запускає виконання як Simulink, так і Stateflow частин моделі (рис.4).

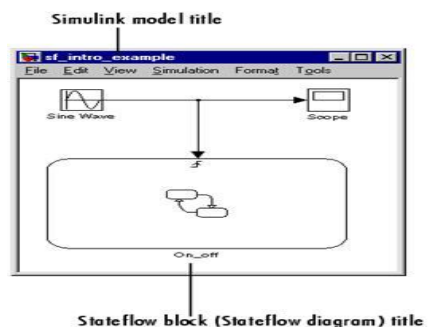


**Рис. 4. Відповідність між моделлю Simulink і Stateflow**

Stateflow діаграми управляються подіями. Події можуть бути локальними для блоку Stateflow або можуть поступати до і від моделі Simulink і джерел коди, зовнішніх до Simulink. Дані також можуть бути локальними для блоку Stateflow або можуть поступати до і від моделі Simulink і джерел коди, зовнішніх до Simulink.

Визначення інтерфейсу для блоку Stateflow може включати деякі або всі ці завдань:

- 1.Визначення методу модифікації блоку Stateflow.
- 2.Визначення Output to Simulink (Вихідних до Simulink) подій .
- 3.Додавання і визначення нелокальних подій і нелокальних даних в межах діаграми Stateflow .
- 4.Визначення стосунків з будь-якими зовнішніми джерелами .
- 5.Розглядати Simulink модель складається з Simulink блоку - джерела Sine| Wave| (Синусоїда), Simulink блоку - приймача Scope (Осцилограф) і єдиного блоку Stateflow з назвою On\_off (рис.5).



**Рис. 5. Визначення методу модифікації блоку Stateflow**

Нижче наводиться приклад Stateflow діаграми, в якій використовуються основні графічні компоненти (рис.6).

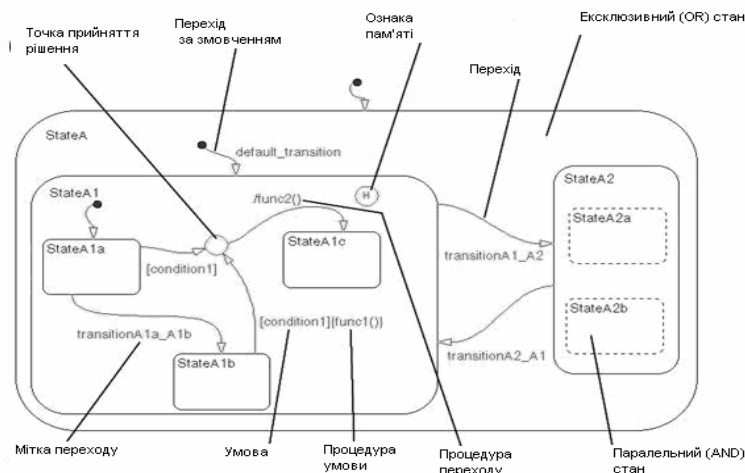
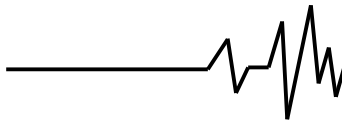


Рис. 6. Об'єкти Stateflow діаграми

#### Виклад основного матеріалу.

В роботі запропонована структура стратегії прийняття рішень при управлінні технологічними процесами, що представлена слайдами. Стратегія базується на застосуванні особливих можливостей комплексу Stateflow-Simulink, призначенням якого є створення моделей систем, що можуть змінювати свою структуру в залежності від зміни стану та параметрів систем. Комплекс вибраний із великого числа наявних програмних продуктів. На нашу думку його можливості перевищують можливості інших моделюючих систем. Цей комплекс немає обмеження рівня складності систем.

Використання даного продукту є новим і дозволяє суттєво підвищити ефективність управління технологічними процесами в системах механообробки. Крім того, він є новим програмним продуктом стосовно використання в ГКІВС та інтерактивним інструментом для розробки в області моделювання складних систем, які керуються подіями. Тісно інтегроване з Matlab та засноване на теорії кінцевих автоматів, пропонується для проектування вбудованих систем із вбудованою логікою. При цьому нові вдосконалення включають:

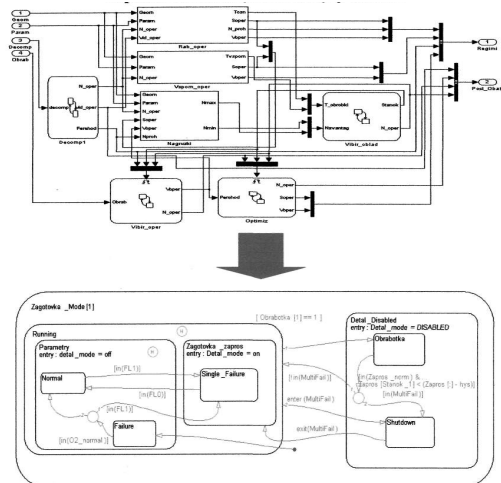
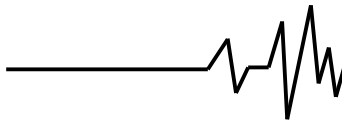
- всебічну підтримку даних та операцій;
- виконання функцій відміни та повтору;
- програмований доступ до комплексу за допомогою повністю документованого API;
- підтримку двовимірних матриць для передачі даних;

- наладчик може визначати переповнення даних;

- зрощення повторного використання кодів за допомогою експорту графічних функцій із бібліотечних таблиць.

За допомогою даного комплексу ми маємо можливість проконтролювати технічний стан багатокординатного обладнання, параметри режимів механообробки та параметри верстату та деталі.

Розглянемо детальніше основні можливості даного комплексу. Комплекс дозволяє створювати та моделювати системи зі складною поведінкою. При цьому система, яка може знаходитися в різних станах (режимах) і здійснювати переходи з одного стану в інший при виникненні події. Використовуючи комплекс можна створювати діаграми, які є графічним уявленням кінцевого автомату. Стани та переходи є основними блоками системи, які створюють ієрархічну систему. Ієрархія дозволяє організувати складну систему розташування одних об'єктів (стани, точки прийняття рішень) всередині інших об'єктів (стани, піддіаграми). При цьому існує можливість виконання декількох операцій із паралельним звертанням до моделюючого блоку симулінк, а також застосуванням рекурсивних алгоритмів керування, виконання комплексу прогнозних оцінок із уточненням стратегії роботи ГВС. За допомогою даного комплексу було реалізовано загальну модель ГКІВС обробки, що наводиться на рис.8.



**Рис. 9. Моделювання поведінки системи засобами STATEFLOW-SIMULINK**

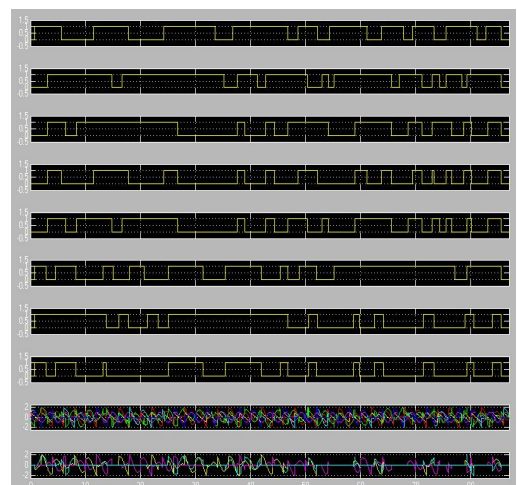
Вхідними даними є електронний образ деталі, який включає геометричні та конструктивні параметри. Ця система описує всі зазначені вище потоки. Відображає такі дії:

- декомпозиція електронного образу і перетворення його в технологічний процес обробки, який відображає система;
- отриманий технологічний процес оптимізується (шляхом моделювання в симулінке);
- в залежності від поточного стану системи вибирається маршрут обробки.

За допомогою Stateflow формується набір раціональних варіантів обробки в ГКІВС. Варіанти порівнюються шляхом моделювання (розрахунку). Вибираються оптимальні варіанти для певного проміжку часу. Стадія (інтервал) моніторингу після реалізації даного оптимального варіанту повторюється. При цьому вибирається оптимальний та раціональний варіант всієї системи. Застосування комплексу потребує детального опису кожного елемента та потоку в системі. Отримана модель обробки деталі з послідовності керуючих дій та діаграм стайтефло стану окремого блоку моделі та моніторинг стану як окремого верстату, так і системи в цілому. Можливості моніторингу є досить широкими від визначення ефективності до енергетики цілого комплексу.

Розроблено подійно-орієнтований граф станів процесу обробки, який реалізований за допомогою комплексу. Представлено режим, в якому знаходиться система, яка керована подіями. Події змінюють свої властивості, при цьому стан системи може бути активним та пасивним. Виникненням таких подій керує Stateflow діаграма. Всі стани можна розташувати один в одному. Моделювання

поведінки системи проводиться зміною активних станів, тобто система змінює свої режими, переходячи із одного стану в інший через об'єкти (рис.9). Представлено індикація станів одиниці обладнання при моніторингу (рис.11) (імпульси вкл-викл), параметри, які підлягають моніторингу.



**Рис. 11. Індикація станів одиниці обладнання при моніторингу**

Після виконання Stateflow –діаграми і повній обробці початкового запуску по події із Simulink, вона передає керування симулінк-моделі і переходить в режим очікування, але залишається при цьому активною.

Вперше запропоновано в роботі підвищення ефективності управління за допомогою комплексу STATEFLOW-SIMULINK, який дав можливість суттєвим чином підвищити якість організації процесу обробки.

Впорядковано систему вибору стратегії із врахуванням результатів моніторингу.

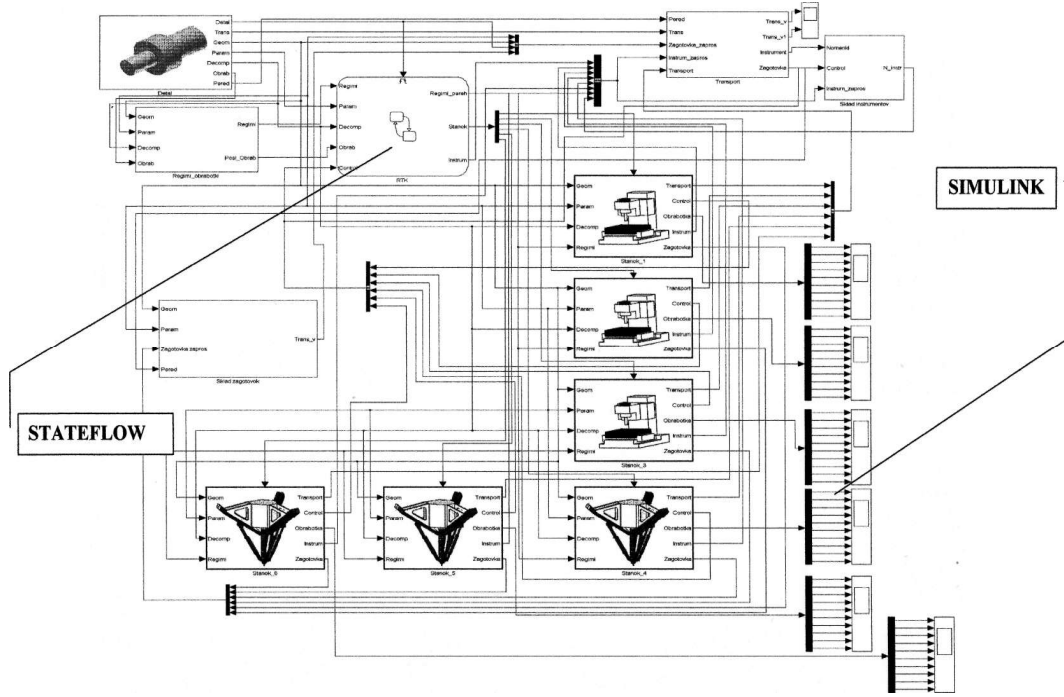
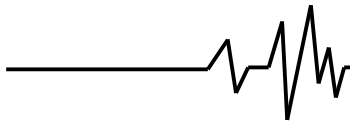


Рис. 8. Загальна модель ГКІВС реалізована засобами комплексу STATEFLOW-SIMULINK

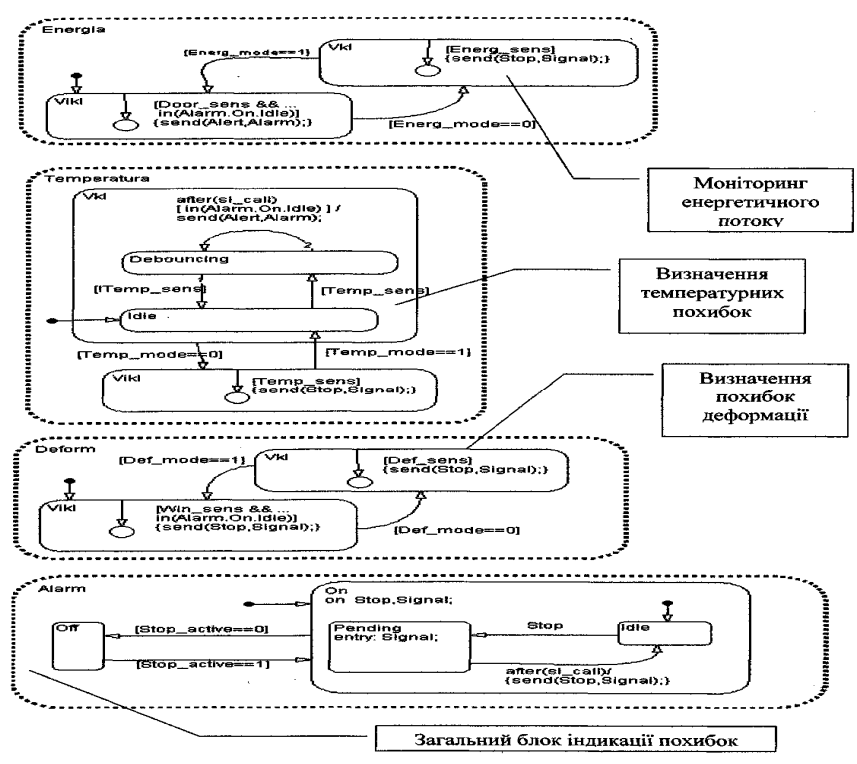


Рис. 9. Моніторинг верстатного комплексу засобами комплексу STATEFLOW-SIMULINK



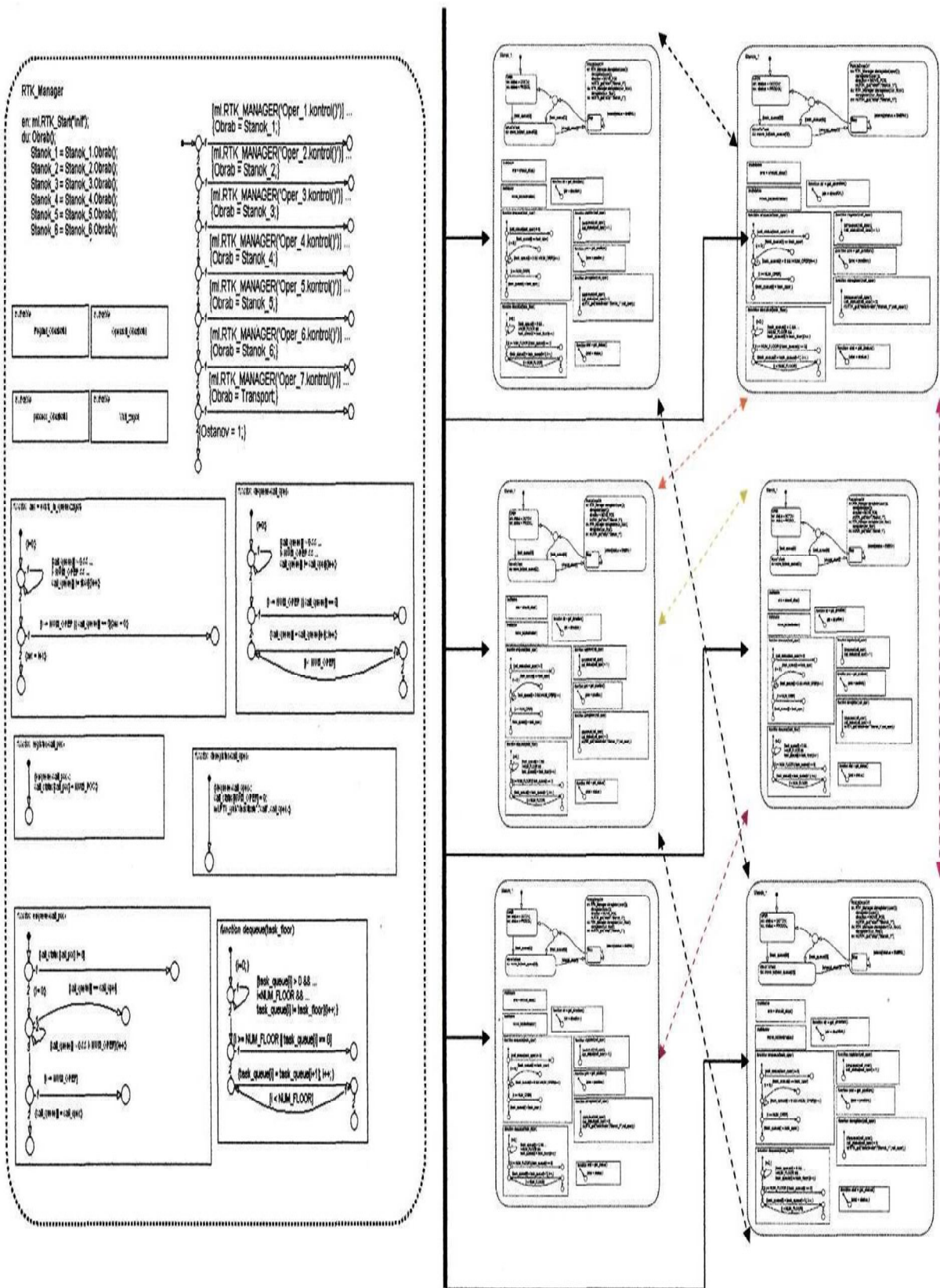
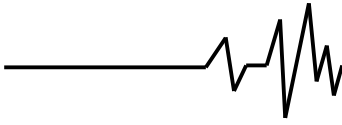


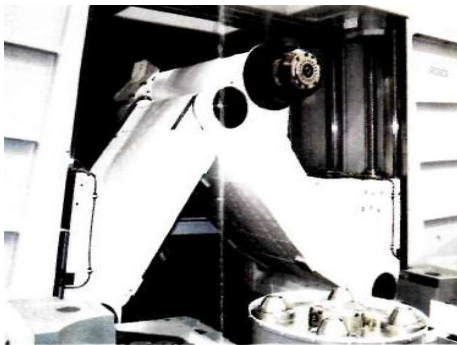
Рис. 10. Подійно-орієнтований граф верстатного комплексу, реалізований засобами комплексу STATEFLOW-SIMULINK



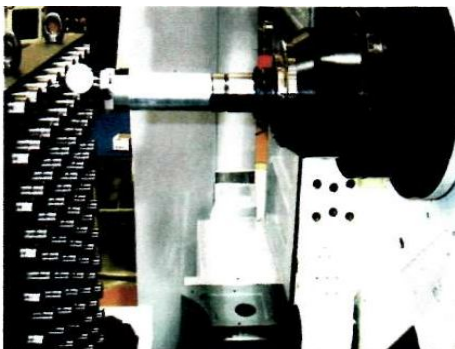


ГКІВС. Наявність розгалуженої системи моделюючого комплексу реалізує ефективне імітаційне моделювання процесу обробки.

Аналізуючи вихідні результати моніторингу робиться висновок про необхідність виконання додаткових робіт. Зокрема проведення періодичного юстування обладнання. У верстатів традиційних схемних рішень задаються і вимірюються порівняно прості графічні об'єкти лінії, площини, циліндри, які відповідають простим рухам. Верстати паралельної кінематики мають складні елементарні рухи контроль яких є утруднений. Елементарні рухи змінюються під впливом експлуатаційних факторів температури, деформації тощо, тому з метою суттєвого підвищення обробки запропоновано періодичний контроль точності верстату із визначенням його реальної геометрії. Принцип контролю ілюструється на прикладі двох координатного верстату паралельної кінематики (рис. 12).



**а) конструктивне рішення механізму триджойнта**

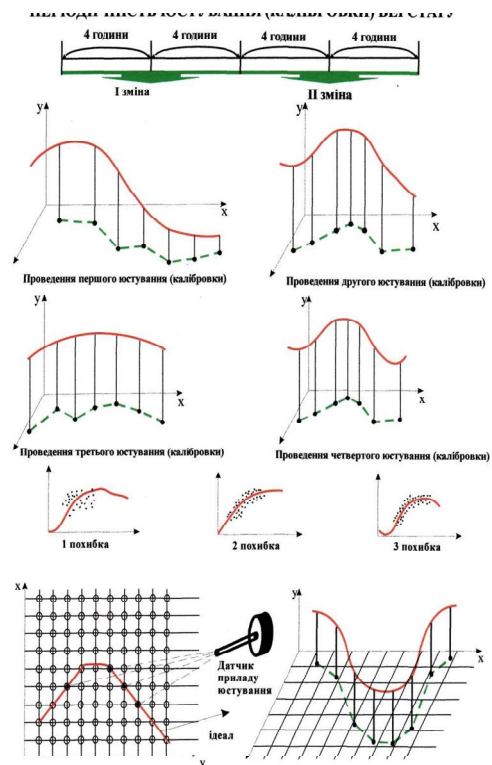


**б) калібрування за допомогою каліброчного блоку**

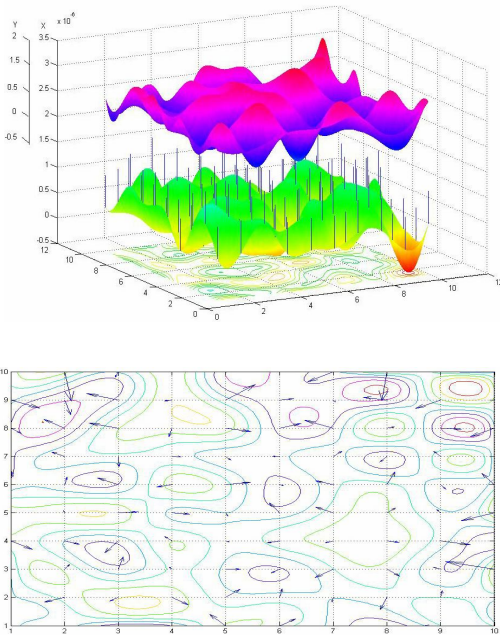
**Рис. 12. Двох- координатний верстат паралельної кінематики**

**Висновки**

Запропонована методика проведення калібрування верстатів за спеціальним алгоритмом переходу від отвору до отвору по спіралі всередину і на зовні. Використовувалося оснащення у вигляді високоточної пластини з отворами для проведення калібрування. У кожній позиції були виміряні точні координати положення шпинделя. За спеціальною методикою були проведені обчислення та уточнена фактична геометрія кінематичних ланцюгів верстату. За допомогою системи ЧПК шпиндель послідовно виводився в усі 100 отворів. При цьому визначалося відхилення вісі шпинделя від вісі отвору для кожної точки. З метою врахування асиметрії приводів і напрямних запропонований спеціальний алгоритм переходу від отвору до отвору по спіралі всередину і на зовні. Згідно схемі вимірюються відхилення по вісі X та по вісі Y для кожного отвору. Проміжні значення одержані згладженням сплайнами (рис. 13-14).



**Рис. 13. Періодичність юстування (калібровки) верстату**



**Рис. 14. Похибки положення шпинделя, одержані шляхом сплайн-інтерполяції точкових значень**

#### **Література**

1. Бусленко Н.П., Моделирование сложных систем.–М: Наука, 1968.–355с.
2. Крейн М.Г., Далецкий Ю.Л. Устойчивость решений дифференциальных уравнений в банаховом пространстве.–Киев: Наука, 1970.–186с.
3. Саркисян С.А., Махундов В., Минаев Э.С. и др. Большие технические системы.–М.: Наука, 1977.–350с.
4. Атанс М., Фалб П. Оптимальное управление.–М.:Физматгиз, 1968.–764с.
5. Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования.–М.: Наука, 1976.–239с.
6. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем.–М. : Мир, 1973.–344с.
7. Марченко В.С., Скляр В.В., Тарасюк О.М. Методы моделирования и оценки качества и надежности программного обеспечения.–Харьков.–2004.–с.158.
8. Кунцевич В.М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации.–Киев Наукова Думка.–2006.–260с.
9. Плис А.И., Сливина Н.А. МATHCAD 2000: Математический практикум для экономистов и инженеров. - М.: Финансы и статистика, 2000. - 655 с.
10. Струтинський В.Б., Мельничук П.П. Математичне моделювання металорізальних верстатів. - Житомир: ЖІТІ, 2002. - 572 с.
11. Пуховский Е.С. Проектирование и эксплуатация гибких производственных систем металлообработки. - К.:УМК ВО, 1991.-172с.
12. Пуховский Е.С. Технологические основы гибкого автоматизированного производства. - К.: Выща шк., 1989. - 236с.
13. Пуховский Е.С., Кукарин А.Б. Проектирование станочных систем многономенклатурного производства.-Тэхника,1997.-221с.
14. Лищинский Л.Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем.-М.:МАшиностроение,1990.-312с.
15. Системное проектирование интегрированных АСУ ГПС машиностроения/Ю.М.Соломенцев, В.А.Исаченко. В.Я. Польшкалин и др.; Под общ. ред. Ю.М. Соломнцева и др.-М.: Машиностроение 1988.-488с.