УДК 004.8

**Дьяков С.О.**

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

Узагальнена концептуальна модель системи динамічного керування у гнучких виробничих системах

*У роботі визначено склад і послідовність етапів синтезу системи динамічного керування у гнучких виробничих системах за допомогою набору вирішальних класифікаційних ознак та логічної моделі поетапного синтезу, що формують узагальнену концептуальну модель. Така формалізація процесу синтезу системи динамічного керування дозволяє уникнути впливу на цей суб’єктивних (людських) факторів та дає можливість подальшої автоматизації процесу.*

*Вступ.* Гнучкі виробничі системи (ГВС) динамічні за своєю природою і схильні до виникнення різного роду невизначеностей, що являють собою події в реальному часі, які можуть змінити стан системи і впливають на її продуктивність [1]. Задля забезпечення успішної взаємодії складових ГВС і збереження рівня її продуктивності необхідно здійснювати ефективне керування в умовах невизначеності. Враховуючи значну кількість невизначених подій на оперативному рівні функціонування системи та їх вплив на її роботу, при розгляді ієрархії системи керування ГВС, слід детальніше зупинитися на системі оперативного управління (СОУ) [2]. У даній роботі, зокрема, приділимо увагу підсистемі СОУ, що безпосередньо управляє ходом виробничого процесу – *системі динамічного керування* (СДК).

***Визначення 1.*** *Динамічне керування ГВС* – процес керування ГВС в умовах динамічного виробничого середовища, направлений на дотримання строків запуску-випуску деталей на технологічне обладнання відповідно до розробленого системою оперативного планування розкладу роботи за рахунок своєчасного ***транспортного обслуговування*** заявок, що надходять від технологічного обладнання.

***Твердження 1.*** Під *динамічним виробничим середовищем* розуміється таке виробниче середовище, виробничий процес якого відбувається за наявності невизначених подій у реальному часі, що впливають на його хід та\або продуктивність.

***Визначення 2.*** *Система динамічного керування* – підсистема СОУ ГВС зі структурою зображеною на рис.1, що відповідно до обраного підходу реалізує спланований розклад роботи технологічного устаткування в умовах динамічного виробничого середовища (за наявності невизначених подій в реальному часі).

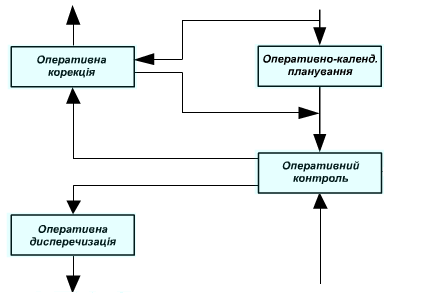


Рисунок 1. Структура СДК

Достатньо широке різноманіття властивостей СДК дозволяє обрати модель, найбільш адекватну до вимог конкретної ГВС з властивими їй видами невизначених ситуацій, разом з тим ускладнюючи процес вибору його багатоваріантністю. Прийняття рішення щодо вибору параметрів СДК покладається на оператора системи.

***Постановка задачі.***

З метою зниження впливу суб'єктивних факторів, пов'язаних з рівнем компетенції оператора, що здійснює налагодження роботи системи використаємо підхід запропонований в [3]. Даний підхід було застосовано для визначення топологій штучних нейронних сіток, що задовольняють вимогам певних прикладних задач.

Отже, згідно з розглянутим підходом, для синтезу моделі системи динамічного керування адекватної до заданої виробничої системи необхідно:

* сформувати набір вирішальних класифікаційних ознак (НВКО) і створити класифікатор СДК;
* побудувати *логічну модель поетапного синтезу* (ЛМПС) моделі СДК;
* створити *узагальнену концептуальну модель СДК* на основі набору ітераційних процедур, що забезпечуються складом і послідовністю етапів синтезу.

***Формування НВКО.***

***Визначення 3.*** *Набір вирішальних класифікаційних ознак СДК* – це їх найменша можлива сукупність *необхідна* для формалізації процесу представлення основних властивостей і вибору задовольняючих моделей СДК і *достатня* для адекватного обслуговування вимог ГВС.

На основі здійсненого аналітичного огляду, а також виходячи із результатів численних досліджень у інших джерелах (наведені в [1]), що присвячені даній проблемі, можемо сформувати НВКО, що дасть змогу здійснювати послідовне обґрунтування вибору відповідностей між ГВС, з властивими йому умовами й обмеженнями та СДК. Отже наведений нижче перелік НВКО є необхідним і достатнім для вирішення цієї задачі: *тип невизначеності,* *підхід до перепланування, стратегія перепланування, політика вибору часу, метод планування.*

***Класифікація СДК*.** При формуванні запропонованого НВКО було проаналізовано основні властивості системи динамічного керування (таблиця 1). *Вибір підходу* передбачає визначення основних критеріїв ефективності планування і механізмів їх досягнення. *Вибір політики часу* перепланування передбачає визначення можливого моменту процесу перепланування роботи виробничої системи. *Вибір стратегії* перепланування передбачає визначення об'єму змін, котрі вносяться до початкового чи попередньо визначеного плану. Далі наводиться більш детальний опис та аналіз властивостей, що розглядаються.

Таблиця 1. Класифікація СДК з відповідним НВКО

|  |  |
| --- | --- |
| Класифікаційна ознака (НВКО) | Класифікация СДК |
| Види невизначеностей у ГВС | Пов’язані з ресурсами, пов’язані з задачами |
| Підхід | Реактивне, прогнозтично-реактивне, робастне прогнозтично-реактивне та робастне превентивне. |
| Стратегія | Повне перепланування, корекція плану |
| Політика вибору часу | Періодична, подієва і гібридна |
| Метод | Правила диспетчеризації, евристики, метаевристики, ситуаційне управління, мультиагентні системи |

**Види невизначеностей у ГВС**.Виробничі середовища динамічні за своєю природою і схильні до виникнення різного роду невизначеностей, що являють собою події в реальному часі, які можуть змінити стан системи і впливають на її продуктивність. Література з динамічного планування розглядає значну кількість подій в реальному часі і їх вплив на роботу систем. Події у режимі реального часу можуть бути розділені на дві категорії [1]:

• ***Пов'язані з******ресурсами*:** несправність виробничих модулів, помилка оператора, відсутність або несправність інструмента, ліміти завантаження, затримки у доставці матеріалів, дефектність матеріалу тощо.

• ***Пов'язані з******задачами:*** термінові задачі, відміна задач, зміни терміну виконання задач, невчасне надходження задач, зміна пріоритету задач, зміна тривалості виконання операцій тощо.

Підходи до динамічного планування. Проаналізувавши проведені з цієї проблематики дослідження (наведені в [1]), можна виділити чотири основні види динамічного планування: реактивне, прогностично-реактивне, робастне прогностично-реактивне і робастне превентивне.

***Реактивне планування.*** Характерною рисою реактивного планування є відсутність заздалегідь спланованого розкладу.

***Визначення 4*.** *Реактивне планування* – це процес, при якому жоден чіткий розклад не генерується заздалегідь, і рішення приймаються локально в режимі реального часу.

Для визначення пріоритету часто використовуються правила диспетчеризації, які використовуються для вибору до обробки наступної задачі з найвищим пріоритетом з набору задач, які очікують обслуговування на обробному ресурсі, що звільняється. Правила диспетчеризації швидкі, зазвичай інтуїтивно зрозумілі та прості у реалізації. Проте, глобальне планування може значно підвищити продуктивність виробництва порівняно з локальними і короткостроковими правилами диспетчеризації.

***Прогностично-реактивне планування.*** Прогностично-реактивне планування є найбільш поширеним підходом динамічного планування, що використовується у виробничих системах. Більшість визначень динамічного планування, описаних в технічній літературі, стосуються прогностично-реактивного планування.

***Визначення* 5.** *Прогностично реактивне планування*– це процес планування/перепланування, в якому розклад переглядається у відповідь на події в реальному часі.

Прогностично-реактивне планування складається з двох етапів. По-перше, заздалегідь генерується прогностичний графік з метою оптимізації продуктивності виробництва без урахування можливих збоїв в цеху. По-друге, під час виконання цей розклад модифікується у відповідь на події в реальному часі.

***Робастне прогностично-реактивне планування.*** Більшість прогностично-реактивних стратегій планування ґрунтуються на простих корегуваннях у розкладі, які враховують тільки ефективність виробництва. Новий графік може значно відхилятися від початкового, що може серйозно вплинути на планування інших видів діяльності, заснованих на початковому графіку і може привести до низької продуктивності графіка. Тому бажано генерувати прогностично-реактивні графіки, що є робастними.

***Твердження* 2.** *Робастним пролгностично-реактивним* є перепланування з одночасним урахуванням як ефективності виробництва, так і відхилення від первісного графіка (стабільності). Стабільність вимірює відхилення від первісного прогностичного графіка.

Визначається бі-критерій міри робастності для задачі перепланування у виробничій системі: мінімізація тривалості виконання (ефективність планування) і впливу зміни розкладу (стійкість планування). Експериментальні результати показали ефективність робастних мір в тому, що стабільність планування може бути значно збільшена практично без втрат часу виконання.

***Робастне проактивне планування.*** За даного виду планування відхилення реального часу завершення роботи за реалізованим розкладом від запланованого часу завершення за прогностичним графіком зменшується вставлянням додаткового часу прогностичний графік з метою досягнення високої передбачуваності.

***Твердження* 3.** *Метою**робастних* *проактивних підходів планування* є створення прогностичних графіків, які задовольняють вимогам до продуктивності у динамічному середовищі. Основні труднощі цих підходів полягають у визначенні прогностичних мір.

Існують методи на основі введення тимчасового простою з метою зведення до мінімуму запізнення виконання операцій. Основна ідея полягає у забезпеченні здійснення кожної операції з додатковим прогностичним часом обробки для поглинання певного рівня невизначеності без перепланування.

Політики вибору часу перепланування. Для вирішення проблеми, коли здійснювати перепланування, в літературі були запропоновані три політики поведінки [1]: періодична, подієва і гібридна.

У ***періодичній політиці*** графіки генеруються через регулярні проміжки часу, за які збирається вся наявна інформація від виробничої системи. Потім цей графік виконується і не переглядається, поки не почнеться наступний період. Періодична політика дає більше стабільності розкладу і менше відхилень. На жаль, слідування встановленому графіку в умовах істотних змін стану виробничої системи може несприятливо позначитися на продуктивності. Також складним завданням є визначення періоду перепланування. Періодичні політики часто визначаються як підходи рухомого часового горизонту.

У ***подієвій політиці*** перепланування спрацьовує у відповідь на невизначену ситуацію, яка змінює поточний стан системи. Більшість підходів до динамічного планування використовують цю політику. Одним із підходів є здійснення перепланування кожного разу, коли виникає поломка оброблювального ресурсу. Результати показали, що подієве перепланування з нижчим обчислювальним навантаженням і вищою передбачуваністю продуктивності перевершує політику періодичного перепланування.

***Гібридна політика*** переплановує систему періодично, а також при виникненні надзвичайних ситуацій. Події, що класифікуються як періодично виникаючі між періодами перепланування ігноруються до наступного моменту перепланування. Проте, коли подія класифікується як термінова, негайно виконується повне перепланування. Результати досліджень показали, що продуктивність періодичного планування погіршується в міру збільшення тривалості періоду перепланування.

Стратегії планування. Що стосується питання, які стратегії необхідно використовувати для зміни плану, у літературі вирізняються дві основні стратегії: коректування плану і повне перепланування [1].

*Стратегія коректування плану* відноситься до деякого локального врегулювання поточного розкладу при реагуванні на зміни у виробничому середовищі без регенерації нового плану з нуля. Така стратегія може мати перевагу завдяки потенційній економії процесорного часу і збереженню стабільності системи.

***Стратегія повного перепланування*** передбачає регенерацію нового розкладу з нуля. Дана стратегія, в принципі, може бути кращою для підтримки оптимальних рішень, але ці рішення рідко досягаються на практиці і вимагають надлишкового часу обчислення. Крім того, повне перепланування може призвести до нестабільності і відсутності безперервності у деталізованих виробничих планах..

На практиці частіше перепланування проводиться за допомогою корекції плану. Однак повне перепланування також використовується у певній мірі. Для визначення необхідності повного перепланування чи здійснення корекції розкладу можуть бути застосовані міри робастності [1].

**Методи динамічного планування.** Було проаналізовано основні методи динамічного планування, серед яких: правила диспетчеризації, евристики, метаевристики, системи засновані на знаннях, нечітка логіка, нейронні мережі, гібридні методи та мультиагентні системи.

• ***Правила диспетчеризації*** прості та швидко можуть знаходити задовільні рішення. Однак, їх основним недоліком є те, що якість рішень як правило невисока через обмежену природу.

• ***Евристики*** через свою простоту широко використовуються для реакції на події в реальному часі, але вони можуть зупинятися в локальному мінімумі. Для подолання цього недоліку були запропоновані *мета-евристики*, такі як *пошук із заборонами*, *імітація відпалу* та *генетичний алгоритм*.

На відміну від імітації відпалу і пошуку із заборонами, котрі маніпулюють одним допустимим рішенням, генетичні алгоритми працюють одразу із сукупністю допустимих рішень. Однак була виявлена їх неефективність у знаходженні близьких до оптимальних рішень у встановлений термін.

• ***Системи, засновані на знаннях****,* мають потенціал в автоматизації процесу мислення людей-експертів і евристичних знань для роботи виробничих систем планування. Але вони, як правило, не мають можливості для оптимізації системи і вимагають зусиль для їх створення та підтримки, а так само обмежені якістю і цілісністю конкретних знань.

• ***Нечітка логіка***має до кінця не вивчений потенціал в динамічному плануванні, але застосування її механізмів у сукупності з іншими механізмами у складі гібридних систем досить поширене.

• ***Нейронні мережі*** не можуть гарантовано забезпечити оптимальні рішення, але здатність до навчання робить їх найбільш підходящими для систем, які швидко змінюються.

• ***Мультиагентні системи*** здатні успішно втілити такі можливості динамічного планування, як децентралізація, інтеграція, надійність і гнучкість, що робить їх пріоритетними кандидатами для реалізації динамічного планування, на відміну від централізованих та ієрархічних систем планування.

***Побудова логічної моделі поетапного синтезу СДК.***

***Визначення 6.*** *Модель поетапного синтезу СДК* – така послідовність перебирання її властивостей в просторі НВКО, яка дозволяє виокремити модель СДК, здатну задовольнити критерії обслуговування властивостей ГВС.

Наведена на рис. 2 схема відображає послідовність врахування властивостей згідно із запропонованою НВКО при ітераційній процедурі синтезу СДК. При завершенні процедури проводиться перевірка виконання поточним вектором можливостей конкретної СДК умов обслуговуваності вимог конкретної ГВС.

***Визначення* 7.** *Критерій обслуговуваності* – показник задовольняння системою динамічного керування з боку ГВС.

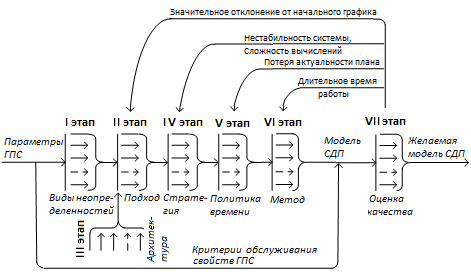


Рисунок 2. Логічна модель поетапного синтезу СДК

***Побудова концептуальної моделі СДК.*** Обрана логічна послідовність синтезу СДК для здійснення динамічного керування у певній ГВС, використовується для визначення: виду невизначеності (ВН), підходу (ПДК), стратегії (СДК), політики часу (ПЧДК) та методу (МДК) динамічного керування. Склад і послідовність етапів синтезу повинні забезпечити набір ітераційних процедур, які й визначатимуть вибір такої моделі СДК, яка здатна адекватно відбивати властивості та обмеження ГВС (ВОГВС).

Для цього побудуємо так звану *віртуальну модель СДК*, що узагальнює в собі всі характеристики останньої, спроможні обслуговувати кожні з ВОГВС.

Використаємо за основу підхід, запропонований в роботі [4]. Згідно із цим підходом на узагальненому верхньому рівні абстрагування концептуально функція СДК (ФСДК-*функція*) (як і будь-якої організаційно-технічної системи) як об’єкта керування (ОК) подається декартовим добутком множин (1).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Отже, верхній рівень абстрагування визначає перебирання всіх варіантів складових моделі СДК.

За основу формалізації опису функціональної бази ОК – моделі СДК та її підфункціональних компонентів – елементарних складових (ЕлС) на виділених ієрархічних рівнях використовуються скінчені графи, що відображають через НВКО властивості та обмеження задачі з ОК і його складовими ЕлО, а також метод Ф-функцій [5], за якими установлюється відповідність множин у виразі (1).

Отже, якщо загальна ФСДК-*функція* як ОК може бути подана на вищому ієрархічному рівні абстрагування виразом (1), то сукупність підфункцій складових процесів (Фсклад-*процеси*) перебирання на ***другому рівні абстрагування*** має вигляд: , , , , . Дана сукупність підфункцій призначена для варіативного формування траєкторій *tr* руху в межах змінних кожної з наведених складових до кінцевої мети – оптимального шляху *tr*opt. Іншими словами, варіативний перетин всіх підфункцій в процесі реалізації ЛМПС СДК являє собою багатоваріантну ієрархічну ітераційно-пошукову оптимізаційну задачу щодо послідовного перебирання складових моделі СДК, що задовольняють ГВС:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

***Означення* 4.** *Траєкторія tr руху* – це слід у послідовності етапів синтезу моделей СДК, що визначається перетином складових моделі СДК з показниками відповідності відповідно до ВОГВС [4].

Таким чином, вирази (2) являють собою проекції функціональних залежностей, що описують Фсклад-*процеси*, на відповідні координатні гіперплощини. Зокрема, серед виразів (2) є подання всіх складових, що утворюють моделі СДК і формують НВКО останніх.

***Означення* 5.** *Оптимальна траєкторія tr*opt *руху* – слід у послідовності етапів синтезу моделей СДК, що визначається перетином складових моделей СДК з максимальними показниками відповідності до ВОГВС на кожному з етапів [4].

На подальших ***рівнях абстрагування (третьому – шостому)*** відповідно до моделі рис. 1 і залежностей (3) реалізується ітеративне перебирання можливих варіацій моделей СДК при відповідних фіксованих (за кращими результатами попереднього ієрархічного рівня) сполучень складових:

|  |  |
| --- | --- |
| ...;  ...; | (3) |

Виходячи з функції (1) послідовність реалізацій ФСДК може бути представлена орграфом (рис. 3), що являє собою ***нижній* *ієрархічний рівень*** подання функцій ОК.

Виділення цього рівня ієрархії, що характеризує узагальнену процедурну частину, є надзвичайно важливим етапом системного аналізу/синтезу моделі СДК. Синтезовані на цьому етапі типи функціональних сполучень Фсклад-*процесів* (, , , , ) є *необхідними і достатніми* для розв’язання прикладних задач побудови *системи автоматизованого вибору* структури СДК. На рис. 2 використано, відповідно, наступні скорочення: ВН – види невизначеностей (Р – пов’язані з ресурсами, З – з задачами), П – підходи до перепланування (Р – реактивний, ПР – прогностично-реактивний, РПР – робастний прогностично-реактивний, РП – робастний превентивний), С – стратегія перепланування (ПП – повне перепланування, КП – корекція плану), ПЧ – політика вбору часу перепланування (П- періодична, ПД – родієва, Г - гібридна), М – метод перепланування (ПД – правила диспетчеризації, Е – евристики, МЕ – мета евристики, СУ – ситуаційне управління, МАС - мультиагентні системи), СДК що задовольняє умовам ВОГВС.



Рис. 3. Повний функціональний орграф ОК – процесу синтезу необхідної СДК

Як вже вище наголошувалося, серед траєкторій *tr* процедурного руху за орграфом, наведеним на рис. 2, що відбиває реалізацію залежностей (3), є й оптимальні *tr*опт за умов відповідності до певних ВОГВС. Зокрема, на рис. 2 червоною лінією виділений слід умовно оптимальної траєкторії *tr*опт ум, яка в результаті багатоітераційного перебирання визначає складові умовної бажаної моделі СДК:

|  |  |
| --- | --- |
| СДК→*tr*опт ум⊂. | (4) |

Подальше вдосконалення процесу синтезу СДК ГВС вбачається в автоматизації вибору параметрів шляхом використання інтелектуалізованих систем для здійснення послідовності ітераційних процедур перебору їх можливих варіантів з метою пошуку *tr*опт, що дозволить сформувати СДК здатну задовольнити ВОГВС.

***Висновки.*** Динамічне керування є однією з ключових складових процесу керування виробничими системами, що включають виробничі ресурси і транспортні модулі. Запропонована узагальнена концептуальна модель та визначені в процесі її реалізації НВКО та ЛМПС чітко структурують процес синтезу СДК та дають можливість у подальшому здійснити автоматизацію цього процесу, що дасть змогу уникнути суб’єктивних факторів, пов’язаних з роботою оператора.

***Список літератури***

1. Дьяков С.О. Динамічне планування у виробничих системах в умовах невизначеності / Дьяков С.О., Ямпольський Л.С. – Технологічні комплекси, 2014. – 2 (10). – С. 22-26
2. *Ямпольський Л.С.* Гнучкі комп’ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління: комплекс підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, Б.Б. Самотокін, М.М. Поліщук, М.М. Ткач, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – 680 с.
3. Ямпольський Л.С. Нечітка ітераційна метаідентифікація штучних нейросіток в мультиагентному середовищі // Вісник кіровоградського національного те-хнічного університету – Кіровоград: КНТУ. – №26 – 2013. – С. 207 – 218
4. Ямпольський Л.С. Агентно-орінтована ідентифікація нейронних сіток /
5. Ямпольский Л.С. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Л.С. Ямпольський; Б.П. Ткач; О.І. Лісовиченко. – К.: ДП «Вид Дім «Персонал», 2011, – 544 с.