

С.О. Дьяков, аспір.
Л.С. Ямпольський, д-р філософії
Національний технічний університет України «КПІ»

УЗАГАЛЬНЕНА КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО КЕРУВАННЯ В ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ

Розглядається актуальне питання керування гнучкими виробничими системами та їх компонентами в умовах невизначених подій в реальному часі. Докладно розглядається структура та особливості функціонування системи динамічного керування, що є підсистемою системи оперативного управління у виробничих системах. Робота системи динамічного керування базується на своєчасному транспортному обслуговуванні заявок від виробничих ресурсів. Метою дослідження є розробка підходу до синтезу моделі системи динамічного керування, яка найбільш адекватно задовольнятиме умови гнучкої виробничої системи. Авторами визначено склад і послідовність етапів синтезу системи динамічного керування в гнучких виробничих системах за допомогою набору вирішальних класифікаційних ознак (тип невизначеності, підхід до перепланування, стратегія перепланування, політика вибору часу, метод планування) та логічної моделі поетапного синтезу, що формують узагальнену концептуальну модель.

Така формалізація процесу синтезу системи динамічного керування дозволяє уникнути впливу на нього суб'єктивних (людських) факторів та дає можливість подальшої автоматизації процесу.

Ключові слова: гнучкі виробничі системи; динамічне керування; вирішальні класифікаційні ознаки; логічна модель поетапного синтезу; узагальнена концептуальна модель; Ф-функція.

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 [7]. 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 роботу системи, при розгляді ієрархії системи керування ГВС, слід детальніше зупинитися на системі оперативного управління (СОУ) [9]. У даній роботі, зокрема, приділимо увагу підсистемі СОУ, що безпосередньо керує ходом виробничого процесу, – системою динамічного керування (СДК).

Визначення 1. Динамічне керування ГВС – процес керування ГВС в умовах динамічного виробничого середовища, спрямований 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. Як динамічне виробниче середовище 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 із зображеною на рисунку 1 структурою, що, відповідно до обраного підходу, реалізує спланований розклад роботи технологічного устаткування в умовах динамічного виробничого середовища (за наявності невизначених подій в реальному часі).

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

Постановка завдання. З метою зниження впливу суб'єктивних факторів, пов'язаних з рівнем компетенції оператора, що здійснює налагодження роботи системи, використаємо підхід, запропонований у [10]. Даний підхід було застосовано для визначення топологій штучних нейронних сіток, що задовольняють вимогам певних прикладних завдань.

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.

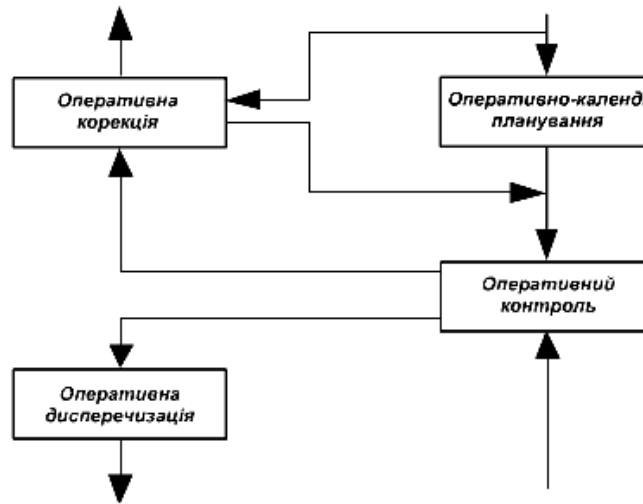


Рис. 1. Структура СДК

Формування НВКО

Визначення 3. Набір вирішальних класифікаційних ознак СДК – це їх найменша можлива сукупність, що 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 в інших джерелах (наведені в [7]), що присвячені даній проблемі, можемо сформувати НВКО, що дасть змогу здійснювати послідовне обґрунтування вибору відповідностей між ГВС, з властивими їй умовами й обмеженнями, та СДК. Отже наведений нижче перелік НВКО є необхідним і достатнім для вирішення цього завдання: *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 (табл. 1). Далі наводиться більш детальний опис та аналіз властивостей, що розглядаються.

Таблиця 1

Класифікація СДК з відповідним НВКО

Класифікаційна ознака (НВКО)	Класифікація СДК
Види невизначеностей у ГВС	Пов'язані з ресурсами, пов'язані з завданнями
Підхід	Реактивне, прогностично-реактивне, робастне прогностично-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 та їх вплив на роботу систем. Події у режимі реального часу можуть бути поділені на дві категорії [1, 4]:

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

– *Пов'язані із завданнями*: термінові завдання, відміна завдання, зміни терміну виконання завдань, невчасне надходження завдань, зміна пріоритету завдань, зміна тривалості виконання операцій тощо.

Підходи до динамічного планування. Проаналізувавши проведені з цієї проблематики дослідження [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 наступного завдання з найвищим пріоритетом з набору завдань, що 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 лише ефективність виробництва. Новий графік може значно відхилитися від початкового, що може серйозно вплинути на планування інших видів діяльності, заснованих на початковому графіку і може призвести до низької продуктивності графіка. Тому бажано генерувати прогностично-реактивні графіки, що є робастними.

Твердження 2. Робастним прогностично-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 завдання перепланування у виробничій системі: мінімізація тривалості виконання (ефективність планування) і впливу зміни розкладу (стійкість планування). Експериментальні результати показали ефективність робастних заходів у 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 заходів.

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 було запропоновано три політики поведінки [2]: періодична, подієва та 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, доки 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 перепланує 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 зі збільшенням 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 [5].

Стратегія коректування плану належить 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. Для визначення необхідності повного перепланування чи здійснення корекції розкладу можна застосувати міри робастності [6].

Методи динамічного планування. Було проаналізовано основні методи динамічного планування, серед яких: правила диспетчеризації, евристики, метаевристики, системи, що 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, що 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 невивчений до кінця 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, що дозволяє виокремити модель СДК, здатну задовольнити критерії обслуговування властивостей ГВС.

Наведена на рисунку 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 задоволення системою динамічного керування з боку ГВС.

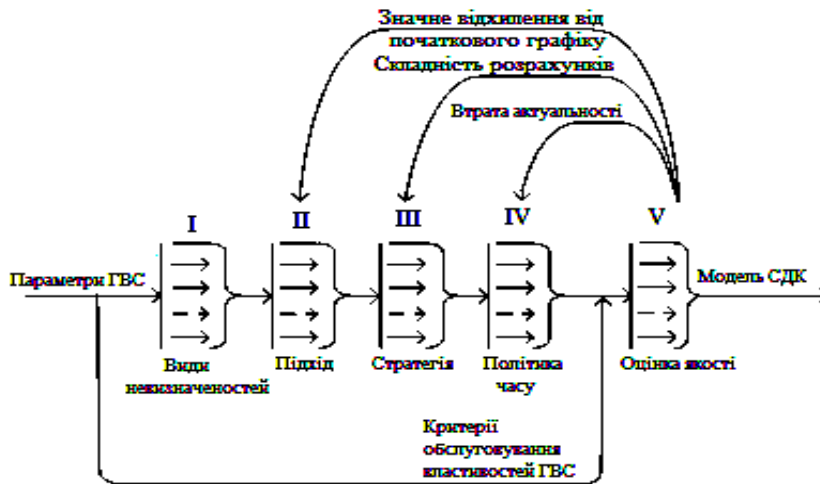


Рис. 2. Логічна модель поетапного синтезу СДК

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

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

Використаємо за основу підхід, запропонований в [8]; згідно із ним, на узагальненому верхньому рівні абстрагування концептуально функція СДК (*Ф_{сдк-функція}*) (як і будь-якої організаційно-технічної системи) як *об'єкта керування* (ОК) подається декартовим добутком множин: ВН, П_{дк}, С_{дк}, ПЧ_{дк}, М_{дк}.

$$\Phi_{\text{сдк}} \subset \text{ВН} \times \text{П}_{\text{дк}} \times \text{С}_{\text{дк}} \times \text{ПЧ}_{\text{дк}} \times \text{М}_{\text{дк}}. \quad (1)$$

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 та його складовими, а також метод Ф-функцій [5], за якими устанавлюється відповідність множин у (1).

Отже, якщо загальна *Ф_{сдк-функція}* як ОК може бути подана на вищому ієрархічному рівні абстрагування виразом (1), то сукупність підфункцій складових процесів (*Ф_{склад-процеси}*) перебирання на **другому рівні абстрагування** має вигляд: $\Phi_{\text{ВН}}, \Phi_{\text{П}_{\text{дк}}}, \Phi_{\text{С}_{\text{дк}}}, \Phi_{\text{ПЧ}_{\text{дк}}}, \Phi_{\text{М}_{\text{дк}}}$. Дана сукупність підфункцій призначена для варіативного формування траєкторій *tr* руху в межах змінних кожної з наведених складових до кінцевої мети – оптимального шляху *tr_{опт}*. 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:

$$\begin{aligned}
\Phi_{ВН} &\subset П_{дк} \times С_{дк} \times ПЧ_{дк} \times М_{дк} \\
\Phi_{П_{дк}} &\subset ВН \times С_{дк} \times ПЧ_{дк} \times М_{дк} \\
\Phi_{С_{дк}} &\subset ВН \times П_{дк} \times ПЧ_{дк} \times М_{дк} \\
\Phi_{ПЧ_{дк}} &\subset ВН \times П_{дк} \times С_{дк} \times М_{дк} \\
\Phi_{М_{дк}} &\subset ВН \times П_{дк} \times С_{дк} \times ПЧ_{дк} .
\end{aligned}
\tag{2}$$

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 [8].

Таким чином, вирази (2) являють собою проєкції функціональних залежностей, що описують $\Phi_{склад-процеси}$, на відповідні координатні гіперплощини. Зокрема, серед виразів (2) є подання всіх складових, що утворюють моделі СДК та 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 [8].

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:

$$\begin{aligned}
\Phi(ВН) &\subset П_{дк} \times С_{дк} \times ПЧ_{дк} \times М_{дк}; \\
\Phi(ВН, П_{дк}) &\subset С_{дк} \times ПЧ_{дк} \times М_{дк}; \\
\dots; \\
\Phi(ВН, П_{дк}, С_{дк}) &\subset ПЧ_{дк} \times М_{дк}; \\
\Phi(ВН, П_{дк}, ПЧ_{дк}) &\subset С_{дк} \times М_{дк}; \\
\dots; \\
\Phi(ВН, П_{дк}, ПЧ_{дк}, С_{дк}) &\subset М_{дк};
\end{aligned}
\tag{3}$$

Виходячи з функції (1), послідовність реалізацій $\Phi_{сдк}$ 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 $\Phi_{склад-процесів}$ ($\Phi_{ВН}$, $\Phi_{П_{дк}}$, $\Phi_{С_{дк}}$, $\Phi_{ПЧ_{дк}}$, $\Phi_{М_{дк}}$) є необхідними і достатніми для розв'язання прикладних задач побудови системи автоматизованого вибору структури СДК. На рисунку 2 використано, відповідно, наступні скорочення: ВН – види невизначеностей (Р – пов'язані з ресурсами, З – із 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 – подієва, Г – гібридна), М – метод перепланування (ПД – правила диспетчеризації, Е – евристики, МЕ – метаевристики, СУ – ситуаційне управління, МАС – мультиагентні системи), СДК, що задовольняє умовам ВОГВС.

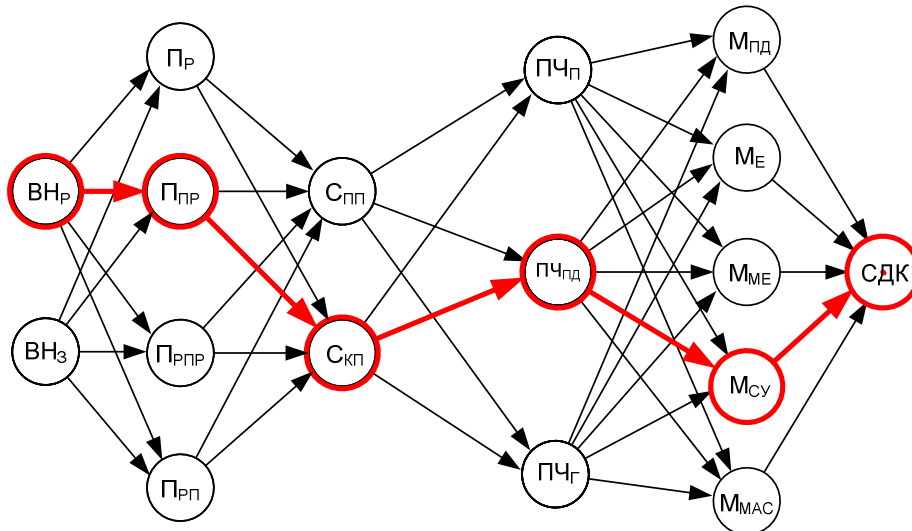


Рис. 3. Повний функціональний орграф ОК – процесу синтезу необхідної СДК

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

$$СДК \rightarrow tr_{opt\ ум} \subset ВНР \times ППР \times СКП \times ПЧПД \times МСУ. \quad (4)$$

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_{opt} , що дозволить сформуванню СДК, здатну задовольнити ВОГВС.

Висновки. Динамічне керування є однією з ключових складових процесу керування виробничими системами, що містять 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 використаної літератури:

1. Herroelen W. Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials / W.Herroelen, R.Leus // European Journal of Operational Research. – 2005. – 165(2). – Pp. 289–306.
2. Mehta S.V. Predictable scheduling of a single machine subject to breakdowns / S.V. Mehta, R.Uzsoy // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. – 1999. – 12 (1). – Pp. 15–38.
3. Sabuncuoglu I. Analysis of reactive scheduling problems in a job shop environment / I.Sabuncuoglu, M.Bayiz // European Journal of Operational Research. – 2000. – 126 (3). – Pp. 567–586.
4. Suresh V. Dynamic scheduling a survey of research / V.Suresh, D.Chaudhuri // International Journal of Production Economics. – 1993. – 32 (1). – Pp. 53–63.
5. Vieira G.E. Rescheduling manufacturing systems: a framework of strategies, policies and methods / G.E. Vieira, J.W. Hermann, E.Lin // Journal of Scheduling. – 2003. – 6(1). – Pp. 36–92.
6. Wu S.D. A rescheduling procedure for manufacturing systems under random disruptions / S.D. Wu, R.H. Storer, P.C. Chang // Proceedings Joint USA / German Conference on New Directions for Operations Research in Manufacturing. – 1991. – Pp. 292–306.
7. Дьяков С.О. Динамічне планування у виробничих системах в умовах невизначеності / С.О. Дьяков, Л.С. Ямпольський // Технологічні комплекси. – 2014. – 2 (10). – С. 22–26
8. Ямпольський Л.С. Агентно-орієнтована ідентифікація нейронних сіток / Л.С. Ямпольський // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2015. – 2 (27).

9. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління : комплекс підруч. для студ. вчз / Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, Б.Б. Самотокін та ін. – Житомир : ЖДТУ, 2005. – 680 с.
10. Ямпольський Л.С. Нечітка ітераційна метаідентифікація штучних нейросіток в мультиагентному середовищі / Л.С. Ямпольський // Вісник Кіровоградського нац. техн. ун-ту. – Кіровоград : КНТУ, 2013. – № 26. – С. 207–218.
11. Ямпольський Л.С. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні : підручник / Л.С. Ямпольський, Б.П. Ткач, О.І. Лісовиченко. – К. : ДП «Вид Дім «Персонал», 2011. – 544 с.

ДЬЯКОВ Сергій Олександрович – аспірант, асистент кафедри технічної кібернетики НТУ України «КПІ».

Наукові інтереси:

- нейротехнології в задачах прийняття рішень;
- інтелектуалізоване керування рухомими об'єктами.

E-mail: Serg.Dyakoff@gmail.com.

ЯМПОЛЬСЬКИЙ Леонід Стефанович – кандидат технічних наук, професор кафедри технічної кібернетики НТУ України «КПІ», лауреат державної премії України в галузі науки і техніки.

Наукові інтереси:

- проблеми штучного інтелекту;
- нейротехнології та нейрокомп'ютерні системи в задачах прийняття рішень.

E-mail: Lyamp37@Gmail.com.

Стаття надійшла до редакції 09.06.2015