

УДК 004.896

Дьяков С.О., аспірант; Ямпольський Л.С., д-р філософії, професор  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## ДИНАМІЧНЕ ПЛАНУВАННЯ У ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

*У роботі розглядається процес динамічного планування у виробничих системах. Виділено основні підходи до динамічного планування, серед яких: реактивне, прогностично-реактивне, робастне прогностично-реактивне і робастне превентивне. Визначено основні політики вибору моменту часу та стратегії дій щодо перепланування.*

Динамічне планування, робастне планування, політики моменту перепланування, стратегії перепланування, невизначеність, виробнича система.

**Вступ.** Продуктивність роботи сучасних гнучких виробничих систем (ГВС) напряму залежить від вдалої взаємодії її складових, зокрема, системи подачі матеріалів та обробних ресурсів в умовах невизначеності. Ефективне керування ГВС у таких умовах вимагає вирішення певного ряду задач стратегічного, тактичного і операційного рівнів. До основних задач *стратегічного* рівня керування відноситься проектування транспортної мережі ГВС. До задач *тактичного* і *операційного* рівнів відносяться відповідно календарне планування, що передбачає побудову прогностичного графіку, та динамічне планування, що дозволяє адаптувати заданий графік до зміни виробничої ситуації.

Вдало обрана структура транспортної мережі з оптимально обраною кількістю транспортних модулів може допомогти мінімізувати втрати від виникнення нештатних ситуацій пов'язаних з транспортними та оброблювальними ресурсами.

**Означення 1.** *Планування* – це процес розподілу ресурсів про операціях у часі з прийнятими рішеннями з метою оптимізації однієї або декількох цілей.

Планування відіграє важливу роль у діяльності виробничих систем [1]. Побудова виробничого графіку може дозволити покращити координацію за допомогою правильної синхронізації видів діяльності виробничої системи для підвищення продуктивності та мінімізації експлуатаційних витрат. Прогностичний розклад може визначити конфлікти ресурсів, контролювати закінчення виконання операцій і забезпечити вчасне надходження необхідних вхідних матеріальних потоків.

До недавнього часу проблемою планування в умовах невизначеності, тобто за наявності подій в реальному часі, що визначається як *динамічне планування*, значною мірою нехтували і в цій області було проведено небагато досліджень. У цій статті ми зосередилися на ряді питань, що є наразі актуальними у динамічному плануванні у виробничих системах. У першу чергу розглядаються питання обробки виникнення подій у реальному часі під час виконання заданого графіка у виробничій системі.

**Реалізація динамічного планування.** 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 [2, 3]:

- **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.

Для ефективної реалізації динамічного планування у ГВС необхідно здійснити вибір основних складових процесу динамічного планування, що залежать від параметрів та вимог конкретної системи (рис. 1).

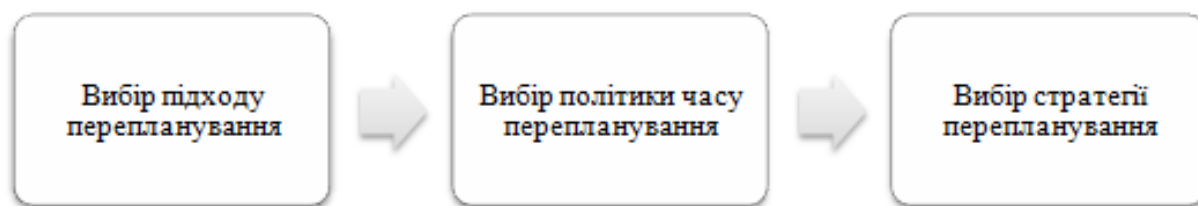


Рисунок 1. – Вибір складових динамічного перепланування ГВС

*Вибір підходу* передбачає визначення основних критеріїв ефективності планування та механізмів їх досягнення. *Вибір політики часу* перепланування передбачає визначення можливого моменту здійснення процесу перепланування роботи виробничої системи. *Вибір стратегії* перепланування передбачає визначення обсягу змін, що вносяться до початкового або попередньо визначеного плану. Далі більш детально проаналізовані можливі варіанти складових процесу перепланування, що повинні бути обрані для реалізації динамічного планування ГВС.

**Підходи до динамічного планування.** Проаналізувавши проведені з цієї проблематики дослідження [4, 5], 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.

**Означення 2.** *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. Пріоритет задач визначається на основі параметрів задач і обробних ресурсів. 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, де важко передбачити продуктивність системи, оскільки рішення приймаються на локальному рівні в реальному часі.

**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.

**Означення 3.** *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 відхилитися 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 1.** *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. У роботі [6] було визначено бі-критерії міри робастності для задачі перепланування у виробничій системі. Критерії включають в себе мінімізацію тривалості виконання (ефективність планування) і впливу зміни розкладу (стійкість планування).

Для стійкості було досліджено дві міри: відхилення часу початку операцій від вихідних значень і відхилення від вихідної послідовності. 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 2.** 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. У роботі [4] автори запропонували прогностичну модель планування для виробничого середовища у випадку виникнення в ньому нестандартних ситуацій (вихід з ладу устаткування, відмова параметрів систем керування тощо) з метою мінімізації максимального запізнення. Обчислювальні експерименти показали, що прогностичне планування забезпечує значне покращення передбачуваності за рахунок дуже малого погіршення максимального запізнення. У роботі [7] досліджувались різні стратегії для генерації робастних проактивних графіків на основі введення тимчасового простоювання з метою зведення до мінімуму запізнення виконання операцій. Основна ідея полягала у забезпеченні здійснення кожної операції з додатковим прогностичним часом обробки для поглинання певного рівня невизначеності без перепланування.

В табл. 1 зведено основні характеристики проаналізованих підходів з метою здійснення вибору останніх в умовах певної ГВС. Для відображення відповідності певних характеристик до розглянутих підходів використано наступні позначки: «+» - повністю відповідає, «+/-» - відповідає частково або на певних етапах, «-» - не відповідає.

Таблиця 1

Основні характеристики підходів до динамічного планування

Підхід до планування	Наявність початкового плану	Мінімізація відхилень від початкового плану	Прогностичне врахування невизначеностей	Глобальна ефективність плану	Висока складність критеріїв
Реактивний	-	-	-	-	-
Прогностично-реактивний	+	-	-	+/-	-
Робастний прогностично-реактивний	+	+	-	+/-	+
Робастний превентивний	+	+	+	+	+

Після вибору підходу до перепланування за наявності невизначених ситуацій в реальному часі необхідно вирішити ще дві проблем: коли і як реагувати на події в реальному часі. Перша проблема стосується часу здійснення перепланування, а друга проблема стосується визначення стратегій перепланування для реагування на події в реальному часі.

**Політики вибору часу перепланування.** Для вирішення проблеми, коли здійснювати перепланування, в літературі були запропоновані три політики поведінки [8, 9]: періодична, подієва і гібридна.

У **періодичній політиці** графіки генеруються через регулярні проміжки часу, за які збирається вся наявна інформація від виробничої системи. Динамічна задача планування розкладається на ряд статичних задач, які можна вирішити за допомогою класичних алгоритмів планування. Потім цей графік виконується і не переглядається, поки не почнеться наступний період, де горизонт планування оновлюється з урахуванням нової інформації, отриманої від поточного стану системи. 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. Основи застосування такого підходу до динамічного планування було запропонова-

но у [10, 11]. Автори досліджували, як частота планування у динамічному виробничому середовищі впливає на продуктивність.

У **подієвій політиці** перепланування спрацьовує у відповідь на невизначену ситуацію, яка змінює поточний стан системи. Більшість підходів до динамічного планування використовують цю політику. У роботі [12] автори дослідили політику подієвого перепланування для виробничих середовищ з виникненням нештатних ситуацій у обробних ресурсах. Перепланування відбувається кожного разу, коли виникає поломка машини. Результати показали, що подієве перепланування з нижчим обчислювальним навантаженням і вищою передбачуваністю продуктивності перевершує політику періодичного перепланування. У роботі [9] наводяться аналітичні моделі для оцінки ефективності виробничої системи при періодичній і подієвій стратегіях перепланування в умовах, коли задачі надходять динамічно. Результати досліджень доводять, що подієве перепланування набагато краще, ніж періодичне.

**Гібридна політика** перепланує систему періодично, а також при виникненні надзвичайних ситуацій. Події, що зазвичай розглядаються: відмови обробних ресурсів, надходження термінових задач, скасування задач або зміна їх пріоритетів. У роботі [13] було розроблено гібридну подієву політику перепланування у виробничому середовищі з динамічним надходженням задач. Розроблена система здійснює перепланування періодично. 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, у той же час подієвий метод досягає достатнього рівня продуктивності.

**Стратегії планування.** Що стосується питання, які стратегії необхідно використовувати для зміни плану, у літературі вирізняються дві основні стратегії: коректування плану і повне перепланування [8, 9].

**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, що призводить до додаткових виробничих витрат, що називається виробничою нестабільністю.

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 [6].

**Висновки.** Планування є однією з ключових складових керування виробничими об'єктами, основними з яких є транспортні модулі та оброблювальні ресурси. Більшість виробничих систем працюють в динамічних середовищах, що підпадають під вплив різних подій в режимі реального часу, які можуть зробити прогностичний оптимальний розклад неприйнятним. Таким чином, динамічне планування відіграє значну роль в успішній реалізації систем планування.

Було проаналізовано чотири підходи до динамічного планування: реактивне планування, прогностично-реактивне планування, робастне прогностично-реактивне планування і робастне превентивне планування. Основні характеристики підходів, що можуть бути використані при обранні для реалізації у конкретній ГВС було зведено в таблицю. Прогностично-реактивне планування є найбільш поширеним підходом динамічного планування, що може забезпечити більш високу продуктивність системи та мінімізацію експлуатаційних витрат у порівнянні з онлайн плануванням. Генерація робастних графіків призводить до підвищення стійкості системи, однак слід враховувати складність визначення міри робастності.

Проаналізовано основні політики часу та стратегії вирішення проблеми оновлення графіків. Подієва політика, згідно з проаналізованими дослідженнями, показує вищу ефективність у порівнянні з періодичною. Корекція розкладу більш широко розповсюджена ніж повне перепланування через потенційну економію процесорного часу і збереження стабільності системи.

1. Pinedo M. Scheduling theory, algorithms and systems / M. Pinedo. – First edition, Prentice Hall, 1995.
2. Stoop P. P. M. The complexity of scheduling in practice, *International Journal of Operations and Production management* / P. P. M. Stoop and V. C. S. Weirs, 1996. – 16 (10). – p.p. 37-53.
3. Suresh V. Dynamic scheduling a survey of research / V. Suresh and D. Chaudhuri. – *International Journal of Production Economics*, 1993. – 32 (1). – p.p. 53-63.
4. Mehta S. V. Predictable scheduling of a single machine subject to breakdowns / S. V. Mehta and R. Uzsoy. – *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1999. – 12 (1). – p.p. 15-38.
5. Herroelen W. Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials / W. Herroelen and R. Leus. – *European Journal of Operational Research*, 2005. – 165(2). – p.p. 289-306.
6. Wu S. D. A rescheduling procedure for manufacturing systems under random disruptions / S. D. Wu, R. H. Storer and P. C. Chang. – *Proceedings Joint USA/German Conference on New Directions for Operations Research in Manufacturing*, 1991. – p.p. 292-306.
7. Davenport A. J. Slack-based techniques for robust schedules / A. J. Davenport, C. Gefflot, and J. C. Beck. – *Proceedings of the Sixth European Conference on Planning (ECP2001)*, 2001.
8. Sabuncuoglu I. Analysis of reactive scheduling problems in a job shop environment / I. Sabuncuoglu and M. Bayiz. – *European Journal of Operational Research*, 2000. – 126 (3). – p.p. 567-586.
9. Vieira G. E. Rescheduling manufacturing systems: a framework of strategies, policies and methods / G. E. Vieira, J. W. Hermann, and E. Lin. – *Journal of Scheduling*, 2003. – 6 (1). – p.p. 36-92.
10. Muhlemann A. P. Job shop scheduling heuristics and frequency of scheduling / A. P. Muhlemann, G. Lockett, and C. K. Farn. – *International Journal of Production Research*, 1982. – 20 (2). – p.p. 227-241.
11. Kim M. Simulation based real-time scheduling in a flexible manufacturing system / M. Kim and Y. Kim. – *Journal of Manufacturing Management Systems*, 1994. – 13 (2). – p.p. 85-93.
12. Yamamoto M. Scheduling/rescheduling in the manufacturing operating system environment / M. Yamamoto and S. Y. Nof. – *International Journal of Production Research*, 1985. – 23 (4). – p.p. 705-722.
13. Church L. K. Analysis of periodic and event-driven rescheduling policies in dynamic shops / L. K. Church and R. Uzsoy. – *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1992. – 5 (3). – p.p. 153-163.