

## Слайд 2.

Дана дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної задачі – забезпечення ефективного функціонування гнучкої виробничої системи (ГВС) в умовах невизначеності.

*Гнучка виробнича система* – це система, що являє собою сукупність різних комбінацій обладнання з числовим програмним керуванням (роботизованих технологічних комплексів, виробничих модулів або іншого технологічного устаткування) і систем забезпечення їх функціонування в автоматичному режимі протягом заданого інтервалу часу, що має здатність автоматизовано переналагоджуватися на виробництво виробів довільної номенклатури у заданих межах значень їх характеристик.

У роботі було проаналізовано ієрархію та задачі рівнів управління виробничою системою:

- Адміністративний: Техніко-економічне планування; Економічне управління.
- Стратегічний: Оперативне планування; Організаційне управління.
- Тактичний: Оперативна диспетчеризація; Технологічне управління.
- Виконавчий: Логіко-програмне управління обладнанням; Локальне управління.

Для забезпечення успішної взаємодії складових виробничої системи та збереження рівня її продуктивності необхідно здійснювати ефективне керування в умовах невизначеності. Враховуючи значну кількість невизначених подій на стратегічному і тактичному рівнях функціонування та їх вплив на роботу системи, при розгляді ієрархії системи керування ГВС, слід детальніше зупинитися на *системі оперативного управління* (СОУ), головна мета якої полягає в організації оперативного управління матеріальними потоками, що полягає в упорядкуванні проходження матеріальних потоків через оброблювальні ресурси.

Враховуючи динамічний характер виробничого середовища та значну складність структури і функцій СОУ надзвичайно важливо виділити та правильно налаштувати *вирішальні динамічні показники (ВДП) СОУ* – такі показники, що безпосередньо впливають на здійснення процесу оперативного управління виробництвом в реальному часі в умовах невизначеності.

*Динамічне оперативне керування (ДОК) ГВС* – це процес налаштування на етапах підготовки та функціонування гнучкої виробничої системи таких значень *вирішальних динамічних показників*, що здатні задовольнити поточні вимоги та обмеження ГВС (ВО ГВС).

Необхідно визначити узагальнені вирішальні динамічні показники СОУ.

## Слайд 3.

Для цього було проведено структурно-функціональний аналіз СОУ ГВС.

*Загальна функція процесу оперативного керування*  $\Phi_{\text{СОУ}}$  полягає у розв'язанні задачі просторового та часового упорядкування необхідного обсягу запланованих робіт.

Процес розв'язання даної задачі може бути представлений організованою множиною виконуваних СОУ функцій: планування, диспетчеризації та, через неможливість виключення ряду випадкових факторів, що здійснюють вплив на виробничий процес, оперативного контролю та корегування.

Отже загальна функція  $\Phi_{\text{СОУ}}$  розділяється на функції цих операцій:

$$\Phi_{\text{СОУ}} \rightarrow \{\Phi_{\text{оп}}, \Phi_{\text{окон}}, \Phi_{\text{окор}}, \Phi_{\text{од}}\} \quad (1.1)$$

де:  $\Phi_{\text{оп}}$  – функція оперативного планування;  $\Phi_{\text{окон}}$  – функція оперативного контролю;  $\Phi_{\text{окор}}$  – функція оперативної корекції;  $\Phi_{\text{од}}$  – функція оперативної диспетчеризації.

Виходячи з сукупності функцій, можна стверджувати, що основний вплив на функціонування СОУ мають значення наступних основних узагальнюючих показників із множини  $P_{ВДП}$ :

$$P_{ВДП} = \{P_{ОП}, P_{ОКон}, P_{ОКор}, P_{ОД}\}, \quad \text{де:} \quad (1.20)$$

$P_{ОП}$  – показник оперативного планування передбачає визначення ступеня повноти оперативного плану, основних критеріїв його ефективності та механізмів їх досягнення;

$P_{ОКон}$  – показник оперативного контролю передбачає визначення моменту здійснення процесу контролю та прийняття рішення про необхідність перепланування оперативної роботи виробничої системи;

$P_{ОКор}$  – показник оперативної корекції передбачає визначення обсягу змін, що вносяться до початкового або попередньо визначеного плану;

$P_{ОД}$  – показник оперативної диспетчеризації передбачає визначення основних алгоритмів утворення керуючого впливу для своєчасного обслуговування транспортними модулями задач транспортування від оброблювальних ресурсів.

#### Слайд 4.

Процес динамічного оперативного керування можна представити математично у вигляді нижченаведеної формалізованої моделі процесу  $D$ , що означає вибір  $p$  – набору значень показників СОУ із множини  $P_{СОУ}$  і відповідає співставленню  $\Phi_{СОУ}$  – функціональних можливостей СОУ з  $L$  – вимогами та обмеженнями конкретної ГВС та з урахуванням  $U$  – можливих типів невизначеностей, що характерні даній ГВС:

$$D: p = P_{СОУ_i}: \{\Phi_{ОП} \vee \Phi_{ОКон} \vee \Phi_{ОКор} \vee \Phi_{ОД}\} \times L \times U \quad (1.21)$$

Достатньо широке різноманіття можливих значень показників ДОК дозволяє обрати серед них значення, що найбільш адекватні до вимог конкретної. Разом з тим, очевидно, що дана багатоваріантність вибору раціонального набору значень показників робить цей процес багатостадійним та трудомістким.

Задля зниження впливу суб'єктивних факторів та для підвищення якості отримуваних рішень, необхідно розробити підхід до автоматизації ДОК.

Автоматизація процесу ДОК – це автоматизація та інтелектуалізація процедури відбору значень показників з урахуваннями обмежень та невизначеностей властивих ГВС, що може бути досягнуто за рахунок розробки нових рішень з використанням сучасних методів та технологій штучного інтелекту.

#### Слайд 5.

Для впровадження автоматизації динамічного оперативного керування у процесі функціонування ГВС пропонується створити систему динамічного оперативного керування (СДОК), що включатиме до свого складу СОУ та окремий модуль корекції ВДП СОУ.

Вчені багатьох країн зробили значний вклад у накопичення знань та досвіду щодо проектування, налаштування та організації роботи автоматизованих систем управління ГВС, Відомі роботи Горанського Г.К., Пономарьова В.М., Костюка В.І., Лисенка Е.В., Пуховського Е.С., Слепцова А.І., Черпакова Б.І., Ямпольського Л.С., Viera G. E., Wu S. D..

У роботах вказаних авторів були розглянуті питання синтезу систем керування ГВС, зокрема загальні принципи побудови систем управління ГВС в реальному часі та рекомендації щодо вибору та налаштування їх компонентів. Однак наведені роботи не містять конкретних рекомендацій щодо автоматизації вибору значень показників СОУ та можливості практичної реалізації таких методик.

Також запропоновано деякі класифікації систем оперативного управління та їх окремих компонентів за певними властивостями. Але жодну з розглянутих класифікацій у початковому вигляді, без попереднього доопрацювання, не можна застосувати у процесі автоматизації ДОК. Однак вони достатні для побудови на їх основі більш універсального класифікатора.

#### Слайд 6.

Здійснений структурно-функціональний аналіз СОУ ГВС та проведений аналітичний огляд відомих інформаційних джерел дає змогу сформулювати **мету дисертаційної роботи**: підвищення ефективності роботи гнучкої виробничої системи шляхом збільшення рівня автоматизації процесів налаштування та функціонування складових системи оперативного управління.

#### Слайд 7.

Для реалізації поставленої мети в дисертації необхідно вирішити такі задачі:

1. На основі структурно-функціонального аналізу роботи СОУ ГВС створити формалізовану модель процесу динамічного оперативного керування та синтезувати структуру системи динамічного оперативного керування (СДОК).
2. Створити класифікатор вирішальних динамічних показників СОУ.
3. Дослідити ГВС щодо можливих типів невизначених ситуацій, які можуть виникати у процесі функціонування.
4. Визначити логічну послідовність здійснення процесу вибору раціональних значень із класифікатора ВДП, за яких можливе адекватне обслуговування вимог та обмежень ГВС.
5. Синтезувати узагальнену концептуальну модель СОУ на основі створеної логічної послідовності налаштування вирішальних динамічних показників.
6. Обґрунтувати вибір методів прийняття рішень щодо визначення раціональних значень ВДП СОУ у процесі ДОК.
7. Розробити підхід до автоматизації процесу ДОК на основі обраних методів прийняття рішень в умовах невизначеності.
8. Створити алгоритмічне та програмне забезпечення СДОК на основі розробленого підходу у вигляді системи підтримки прийняття рішень (СППР).
9. Провести експериментальні дослідження та порівняти за обраними критеріями ефективності результати роботи СДОК для ГВС з різними значеннями показників.

#### Слайд 8.

Необхідно сформулювати *набір вирішальних динамічних показників (НВДП)* і на його основі створити *класифікатор СОУ*.

На основі зазначеної множини основних узагальнених динамічних показників роботи СОУ та виходячи із власного досвіду та здійсненого аналітичного огляду результатів численних досліджень в інших джерелах можемо сформулювати НВДП, що для кожного узагальненого динамічного показника визначає відповідну конкретну величину:

- показник оперативного планування  $P_{оп}$  – **підхід до оперативного планування**:
  - *Реактивне планування*. При повністю реактивному плануванні жоден чіткий розклад не генерується заздалегідь і рішення приймаються локально в режимі реального часу.
  - *Прогностично-реактивне планування*. Прогностично-реактивне планування складається з двох етапів. По-перше, прогностичний графік генерується

заздалегідь з метою оптимізації продуктивності виробництва без урахування можливих збоїв в цеху. Цей розклад модифікується під час виконання у відповідь на події в реальному часі.

- *Робастне прогностично-реактивне планування.* Більшість прогностично-реактивних стратегій планування засновані на простих корегуваннях у розкладі, які враховують тільки ефективність виробництва. Робастне прогностично-реактивне планування спрямоване на побудову графіку, що мінімізував би вплив невизначеної ситуації на критерій продуктивності реалізованого графіка.
- *Робастне превентивне планування.* Робастні превентивні підходи планування зосереджені на створенні прогностичних графіків, які задовольняють вимогам до продуктивності в динамічному середовищі.
- показник оперативного контролю  $P_{OKon}$  – **політика вибору часу перепланування** (періодична, подієва, гібридна);
- показник оперативної корекції  $P_{OKop}$  – **стратегія перепланування** (повне перепланування, корекція плану);
- показник оперативної диспетчеризації  $P_{Oд}$  – **метод оперативної диспетчеризації** (правила диспетчеризації, евристики, метаявристики, ситуаційне управління, мультиагентні системи).

#### Слайд 9.

У процесі динамічного оперативного керування необхідно реагувати на **вимоги** ГВС, що надходять у якості зворотного зв'язку та враховувати наявні **обмеження** щодо структурних та архітектурних особливостей будови ГВС.

У даній роботі, у вигляді вимог, що надходить до модуля корекції ВДП СОУ від модулів оперативного та статистичного обліку СОУ використовується *інформація про вид невизначеної (нештатної) ситуації*.

**Визначення 2.3.** *Невизначеності* – події в реальному часі, які виникають у процесі функціонування системи можуть змінити її стан та/або впливають на її продуктивність.

Події у режимі реального часу були розділені на дві категорії: пов'язані з ресурсами та пов'язані із задачами.

#### Слайд 10.

У якості **обмежень** щодо структурних та архітектурних особливостей будови ГВС, що можуть вплинути на процес ДОК, визначено наступні показники: *обчислювальна потужність апаратного забезпечення СОУ, архітектури СОУ та типова компоновальна структура ГВС*.

#### Слайд 11.

*Логічна послідовність налаштування ВДП СОУ* – така послідовність перебирання значень показників в просторі НВДП згідно із створеним класифікатором, яка дозволяє, здійснюючи ДОК для поетапного визначення показників: підходу до оперативного планування ( $P_{ДОК}$ ), стратегії перепланування ( $C_{ДОК}$ ), політики вибору часу перепланування ( $PЧ_{ДОК}$ ) та методу диспетчеризації ( $M_{ДОК}$ ).

#### Слайд 12.

Далі необхідно синтезувати *узагальнену концептуальну модель СОУ*, що повинна узагальнювати в собі всі характеристики останньої, спроможні обслуговувати у повному обсязі ВОГВС.

Оскільки динамічне оперативне керування ГВС є частиною виробничого процесу, доцільно застосувати для формалізації елементів СОУ відповідні методи функціонального аналізу.

Функцією  $\Phi$  будь-якого виробничого процесу у загальному випадку є встановлення відповідності між об'єктами праці (матеріалами  $M$ , енергією  $E$ , інформацією  $I$ ), способами впливу  $B$  на об'єкти праці, моменти часу  $T$  впливу та просторовими координатами  $K$  об'єктів праці, що може бути записано декартовим добутком:

$$\Phi_{\text{СОУ}} \subset \{M, E, I\} \times T \times B \times K \quad (3.1)$$

Згідно із обраним підходом на узагальненому верхньому рівні абстрагування концептуально функція СОУ ( $\Phi_{\text{СОУ}}$ -функція) (як і будь-якої організаційно-технічної системи) як *об'єкта динамічного оперативного керування* подається декартовим добутком множин:  $VH, P_{\text{ДОК}}, C_{\text{ДОК}}, PC_{\text{ДОК}}, M_{\text{ДОК}}$ .

$$\Phi_{\text{СОУ}} \subset VH \times P_{\text{ДОК}} \times C_{\text{ДОК}} \times PC_{\text{ДОК}} \times M_{\text{ДОК}} \quad (3.2)$$

### Слайд 13.

Виходячи з функції послідовність реалізацій  $\Phi_{\text{СОУ}}$  може бути представлена оргграфом. Синтезовані на цьому етапі типи функціональних сполучень  $\Phi_{\text{склад-процесів}}$  ( $\Phi_{VH}, \Phi_{P_{\text{ДОК}}}, \Phi_{C_{\text{ДОК}}}, \Phi_{PC_{\text{ДОК}}}, \Phi_{M_{\text{ДОК}}}$ ) є *необхідними і достатніми* для розв'язання прикладних задач побудови системи автоматизованого вибору структури СОУ.

Серед траєкторій  $tr$  процедурного руху за оргграфом, наведеним на рис. 3.1, що відбиває реалізацію залежностей (3.4), є й оптимальні  $tr_{\text{опт}}$  за умов відповідності до певних ВОГВС. Зокрема, на рис. 3.1 червоною лінією виділений слід умовно оптимальної траєкторії  $tr_{\text{опт. ум.}}$ , яка в результаті багатоітераційного перебирання визначає складові умовної бажаної моделі СОУ.

### Слайд 14.

На основі реляційних відношень між окремими компонентами розробленої *концептуальної моделі* була сформована структура *узагальненої моделі вибору* (УМВ), формування якої являє *першу складність* реалізації моделі (рис. 3.1).

*Друга складність* полягає у кількісному визначенні вагомості реляційних зв'язків між визначальними класифікаційними ознаками і реалізується експертним рейтинговим оцінюванням альтернативних варіантів з використанням методів ранжування і попарних порівнянь.

### Слайд 15.

Отже, при залученні експертів було проведено опитування оцінок ефективності поєднання ознак СОУ наведеними експертними методами. Також, після отримання результатів оцінювання було проведено аналіз на узгодженість експертів у даній області (коректність відповідей щодо відповідності між ВДП).

Після проведення обчислень було отримано наступний результат:

- степінь узгодженості методом ранжування ( $\omega = 0,85$ );
- степінь узгодженості методом парних порівнянь ( $\gamma = 0,78$ ).

Степені узгодженості, отримані двома методами, не менше 0,5, а отже можемо умовні кількісні результати попередніх обробок даних від джерел, що не претендуючи на строгість експертного оцінювання, можна розглядати в якості прикладу узагальненої методики при вирішенні задачі ДОК.

### Слайд 16.

Використовуючи синтезовану концептуальну модель системи оперативного управління та отриману узагальнену модель вибору її визначальних динамічних показників шляхом багатоітераційного перебирання можна визначити бажані значення показників СОУ, реалізуючи таким чином процес ДОК.

Однією з основних особливостей сучасних інформаційних систем, до яких можна віднести і систему оперативного управління виробництвом, є те, що вони не призначені для самостійного прийняття рішень в умовах невизначеності. Усі можливі варіанти поведінки таких систем мають бути спроектовані людиною і закладені в них на етапі розробки. Потрапляння подібної системи в умови, не враховані її розробниками, може призводити до аварійного завершення.

Одним з підходів, направлених на вирішення цієї проблеми, є застосування *агентно-орієнтованого методу* для автоматизації проектування і розробки.

Відмітною властивістю концепції агента (програмного агента) є наявність зовнішнього середовища, з яким агент здатний взаємодіяти, але не володіє можливістю його контролювати.

Для сучасних інформаційних систем все частіше постає вимога здатності до оптимізації поведінки в умовах мінливого зовнішнього середовища.

Іншим завданням є реалізація методів накопичення та аналізу досвіду до ШНС або до складних баз знань.

Зазначені задачі входять у конфлікт з обмеженнями на час реакції і обчислювальну потужність обладнання. Тому однією із значущих тенденцій в сучасних інформаційних системах є паралелізація обчислень. Вплив цих тенденцій також призвів до популяризації концепції соціальних агентів і мультиагентних систем.

### Слайд 17.

Було використано підхід на основі *метаідентифікації*, щоб на основі створеної у попередньому розділі *узагальненої концептуальної моделі СОУ* та *узагальненої моделі вибору ВДП СОУ* створити строгу модель вибору, що базується на *гнучких інтелектуалізованих мультиагентних конфігураціях* (ГІМАК).

*Гнучка інтелектуалізована мультиагентна конфігурація* – така мультиагентна конфігурація, яка: містить агенти  $A^{(M)}$  з функціями *метаідентифікації*, які реалізують механізм розподіленого динамічного виявлення необхідності інших; забезпечує паралельність роботи агентів; реагує на зміни стану зовнішнього середовища шляхом підналаштування загального виходу.

### Слайд 18.

Наведена на рис. 3.5 узагальнена модель *гнучкої інтелектуалізованої мультиагентної системи* (ГІМАС) об'єднує необхідну для формування алгоритму вибору значень СДП СОУ і достатню для задоволення вимог з боку обслуговуваної ГВС сукупність цільових компонент метаідентифікації: АОП<sub>ВН</sub>, АОП<sub>П</sub>, АОП<sub>С</sub>, АОП<sub>ПЧ</sub>, АОП<sub>М</sub> згідно із концептуальною моделлю СОУ.

**Визначення 3.10.** *Гнучка інтелектуалізована мультиагентна система* – це сукупність ГІМАК АОП, в якій реалізується логічна послідовність налаштування ВДП СОУ з такою послідовністю їх перебирання в просторі НВДП, яка, будучи виконувана користувачем і/або внутрішнім ініціюючим джерелом, відтворює принципи агентно-орієнтованого підходу та автономно дозволяє виокремити модель/моделі СОУ, здатні задовольнити критерії обслуговування властивостей ГВС.

Заключна процедура ДОК у ГІМАС зводиться до реляційного перебирання ФСІА умов виконання критеріїв обслуговуваності поточним вектором можливостей конкретної СОУ вимог з боку ГВС.

### **Слайд 19.**

З метою використання розробленого у попередньому розділі підходу до автоматизованого динамічного оперативного керування ГВС необхідно здійснити його практичну реалізацію у вигляді програмно-інструментального середовища для використання у якості програмного забезпечення модуля корекції визначальних динамічних показників СОУ, що входить до системи динамічного оперативного керування ГВС у вигляді систем підтримки прийняття рішень.

**Визначення 4.1.** *СППР для автоматизації процесу ДОК* – це автоматизована інтерактивна комп'ютерна система, що поєднує методичне, алгоритмічне та програмне забезпечення у єдине програмно-інформаційне середовище та функціонує з метою підвищення якості та зменшення трудомісткості рішень, що приймаються з її використанням.

### **Слайд 20.**

Розроблено алгоритм налаштування системи (синтезу структури ГІМАС):

1. Додавання користувачем вирішальних динамічних показників синтезованої системи та наборів їх значень, що утворюють класифікатор.
2. Задавання користувачем послідовності налаштування класифікаційних ознак згідно із ЛПН ВДП.
3. Додавання користувачем додаткових обмежень, що можуть накладатися на будь-якому етапі відповідно до ЛПН ВДП.
4. Введення користувачем отриманих від експертів даних щодо кількісного визначення вагомості реляційних зв'язків між визначальними класифікаційними ознаками та обмеженнями, а також їх обробка методами експертного рейтингового оцінювання альтернативних варіантів.
5. Автоматична генерація структури ГІМАС та ініціалізація АОП з усіма необхідними для функціонування ФСІА для кожної класифікаційної ознаки та, за наявності, кожного обмеження.
6. Зберігання структури та налаштувань системи для повторного використання.

Розроблено алгоритм використання системи для знаходження значень вирішальних динамічних показників об'єкта керування:

1. Введення користувачем або зчитування з заданої інформаційної підсистеми значень показників та обмежень, що є вхідними згідно з ЛПН.
2. Реалізація ітераційної процедури ДОК, для вибору значень ВДП, що найкращим чином задовольняють вхідним значенням та обмеженням.
3. Виведення результату у зручній для користувача графічній формі.

### **Слайд 21.**

Проведення дослідження роботи ГІМАС передбачає його попереднє планування. Сформуємо наступну багатоетапну методику експериментального дослідження:

1. Задавання значень вимог та обмежень для тестових ГВС:
  - а. обчислювальна потужність апаратного забезпечення СОУ;
  - б. архітектура СОУ;

- c. структурно-компонувальна схема;
  - d. матриця часу переміщень АТМ;
  - e. властиві види невизначеностей для ГВС.
2. Ініціалізація СППР вибору значень показників СОУ на основі ГІМАС та налаштування усіх необхідних компонентів.
  3. Визначення значень показників СОУ для обраних тестових ГВС за допомогою синтезованої ГІМАС.
  4. Розробка моделі ГВС з обраним методом динамічного керування.
  5. Розв'язання тестових задач на основі наборів технологічних операцій, що можуть бути виконані на тестових ГВС.
  6. Вибір критеріїв оптимальності та інтерпретація отриманих результатів.

## Слайд 22.

За наведеною методикою проведення експериментальних досліджень для ГВС необхідно задати наступні обмеження та вимоги:

**Обчислювальна потужність апаратного забезпечення СОУ** – висока.

**Архітектура СОУ** – централізована.

**Структурно компонентувальні схеми.** Розглянемо дві ГВС з типовими структурно-компонувальними схемами.

На рис. 5.1 зображено два варіанти структур транспортної системи ГВС, що містить 2 автономні транспортні модулі.

**Матриці часу переміщення між ГВМ.** У таблицях 5.1 та 5.2 наведено матриці часу переміщень між ГВМ для двох варіантів структур ГВС 1 та ГВС 2.

**Невизначеності характерні для ГВС.** несправність автономних транспортних модулів;

## Слайд 23.

Реалізуємо алгоритм налаштування СППР:

1. Додавання вирішальних показників;
2. Додавання обмежень для відповідних вирішальних ознак;
3. Заповнення експертних таблиць.

Після додавання кожної з ознак у системі буде автоматично створюватися відповідна АОП з усіма необхідними ІА. Також автоматично будуть згенеровані експертні таблиці, що міститимуть коефіцієнти кількісного визначення вагомості реляційних зв'язків між суміжними визначальними класифікаційними ознаками.

У результаті роботи попередньо налаштованої СППР на основі ГІМАС на головній формі програми отримуємо результат розрахунків щодо вибору значень показників СОУ у вигляді оптимальної траєкторії на повному функціональному *орграфі процесу вибору значень показників СОУ*.

*Підхід до динамічного керування:* прогностично-реактивний.

*Стратегія динамічного керування:* корекція плану.

*Політика вибору часу перепланування:* подієва.

*Метод диспетчеризації* метод на основі мультиагентних систем.

## Слайд 24.

Побудова імітаційної моделі ГВС з методом диспетчеризації на основі МАС.

До складу МАС ДК включимо необхідну для моделювання роботи ГВС кількість агентів та мета агентів:



- $ag_M$  – агент-менеджер;
- $ag^*_{ATM}$  – метаагент системи АТМ;
- $ag^*_{ГВМ}$  – метаагент системи ГВМ;
- $ag^*_3$  – метаагент системи замовлення.

АТМ у виробничій системі відображений двома окремими типами агентів:

- $ag_{ДАТМ}$  – агент диспетчеризації АТМ;
- $ag_{РАТМ}$  – агент ресурсів АТМ.

Коли в ГВС додається АТМ<sub>i</sub>, то одночасно в МАС додається два агенти  $ag^i_{ДАТМ}$  і  $ag^i_{РАТМ}$ . Ці два типи агентів формують метаагент АТМ ( $ag^*_{АТМ}$ ).

Схожим чином, ГВМ у ГВС також відображається двома окремими типами агентів, що утворюють метаагент ГВМ ( $ag^*_{ГВМ}$ ):

- $ag_{ДГВМ}$  – агент диспетчеризації ГВМ;
- $ag_{РГВМ}$  – агент ресурсів ГВМ.

Метаагент замовлення  $ag^*_3$  складається з множини агентів:

- $ag_3$  – агент замовлення, кожен з яких в свою чергу створює множину агентів;
- $ag_O$  – агент операції, що входить до складу замовлення.

Агенти  $ago$  створюються агентом  $ag_3$  використовуючи інформацію отриману від агента  $ag_M$ .

Сховище даних Реєстр (*Reg*) – зберігає інформацію про  $ag^*_{АТМ}$  і  $ag^*_{ГВМ}$ . Використовуючи сховище, агенти знають про доступність інших агентів. Використовуючи канали інформаційного обміну у сховищі, агенти знають про доступність інших агентів.

У роботі більш детально визначається механізм і поведінка всіх типів агентів.

## Слайд 25.

Розглянемо розподіл на виконання задач міжопераційного транспортування.

Як тільки  $ag_{РАТМ}$  стає вільним він інформує  $ag_{ДАТМ}$  і він визначає наступну задачу.

Агент  $ago$  також повідомляє про мінімальний можливий час початку обробки транспортної задачі. Ця інформація записується планом  $ag_{ДАТМ}$  і використовується для визначення найбільш підходящої задачі.

Під час визначення задачі транспортування  $ag_{ДАТМ}$  робить висновки, що базуються на оцінці часу переміщення і часу власного очікування найближчого можливого початку обробки відповідної операції з робочого списку використовуючи наступне рівняння.

Після того, як почали робитися пропозиції,  $ago$  запрошує всі  $ag_{ДАТМ}$  зробити свою і чекає їх відповідей.

## Слайд 26.

Щоб забезпечити зменшення часу переговорів агентів та для функціонування системи диспетчеризації в умовах невизначеності інтелектуальними агентами, що входять до складу МАС, пропонується застосувати систему нечіткого виведення.

У запропонованому підході кожен АДАТМ використовує систему нечіткого виведення (СНВ) для прийняття рішення, яку саме задачу транспортування краще починати виконувати.

СНВ використовує три змінні як входні (Відстань, Час очікування і Частоту запитів), і одну в якості вихідної (Пріоритет).

Нечіткі правила, використовувані у СНВ, наведено у таблиці 4.1. Перший рядок таблиці можна подати як правило "Якщо відстань "далеко" і час очікування "короткий" і частота запитів "висока", то пріоритет "низький"". Інші правила формуються аналогічно.

## Слайд 27.

### Експеримент 1.

Для порівняння результатів, розглянемо три варіанти ГВС без СДОК, у яких СОУ використовує метод на основі правил диспетчеризації з широко відомими правилами диспетчеризації:

- MFCFS (*Modified First-Come-First-Served*) – Модифіковане правило "Перший надійшов перший обслугований".
- STD (*Shortest traveling distance*) – правило "Найкоротший шлях переміщення";
- STT (*Shortest traveling time*) – правило "Найкоротший час переміщення".

Змоделюємо виникнення у процесі функціонування невизначеної ситуації, а саме: *вихід з ладу АТМ на 20-й секунді процесу.*

Критерієм продуктивності обрано **період обробки**.

Для розв'язання експериментальних задач в рамках моделі ГВС, що містить СОУ з методом диспетчеризації на основі МАС, було використано наведену вище модель. Результати, отримані системою з трьома обраними для порівняння правилами диспетчеризації взяті з моделі, наведеної у літературі.

З таблиці 5.9 видно, що система з МАС випереджає інші правила диспетчеризації за показником тривалості періоду обробки в середньому на 10,4%.

### Експеримент 2.

Аналіз ефективності роботи ГВС, що містить СОУ з методом диспетчеризації на основі МАС із застосуванням механізму нечіткого виведення замість переговорів за протоколом CNET.

Для розв'язання експериментальної задачі в рамках моделі ГВС, що містить СОУ з методом динамічного керування на основі МАС, було використано наведену вище імітаційну модель.

1) Для першого випадку було застосовано обраний за допомогою СДОК метод диспетчеризації на основі МАС, у якій переговори між агентами здійснюються за протоколом CNET.

2) Для другого випадку було застосовано вдосконалений метод оперативної диспетчеризації із використанням системи нечіткого виведення на базі наведеної вище бази правил.

Для третього випадку змінено метод диспетчеризації на метод на основі правил диспетчеризації з правилом FCFS. Результати взяті з моделі, наведеної у літературі.

Критерієм продуктивності обрано **середній час очікування АТМ**.

З графіку на рис. 5.8, що відображає залежність середнього часу простою АТМ від часу роботи ГВС для трьох наведених методів, видно, що метод на основі МАС з СНВ переважає за продуктивністю обидва інші методи: МАС з CNET – на 8%, правило FCFS – на 12%.

## Слайд 28-29.

### Загальні висновки

1. На основі проведеного структурно-функціонального аналізу СОУ ГВС, що включав визначення основних функцій, відповідних модулів та узагальнених показників роботи в умовах невизначеності, було створено формалізовану модель процесу ДОК. Це дозволило синтезувати структуру системи динамічного оперативного керування (СДОК), у якій СОУ є об'єктом керування. Для здійснення динамічного керування СОУ вперше запропоновано включити модуль корекції ВДП СОУ, що на основі даних

оперативного та статистичного обліку дозволяє підвищити ефективність роботи шляхом вибору раціональних значень ВДП для налаштування відповідних модулів.

2. При розробці інформаційного забезпечення процесу розв'язання задачі автоматизації процесу ДОК, на основі отриманої формалізованої моделі та узагальнених показників ДОК, було створено класифікатор вирішальних динамічних показників СОУ та їх можливих значень. Класифікатор включає наступні показники: підхід до оперативного планування, стратегія перепланування, політика вибору часу перепланування та метод диспетчеризації. На основі отриманого класифікатора було побудовано логічну послідовність налаштування ВДП, що дозволяє вирішити задачу формування коректної черговості ітераційних процедур при здійсненні автоматизованого ДОК.

3. Створено концептуальну модель СОУ як об'єкта керування на основі Ф-функції. Така формалізація дає змогу визначати склад та закономірності організації окремих компонентів в єдину систему при здійсненні ДОК. Представлено отриману модель у вигляді повного функціонального оргграфа СОУ, що дозволяє встановлювати відповідність множини складових процесів динамічного керування, що відбувається у просторових координатах СОУ у відповідні часові інтервали.

4. Результати аналізу особливостей задачі автоматизованого ДОК вказують на її багатоваріантність, слабку формалізованість зв'язків її компонентів, наявність елементів нечіткості, що разом із відсутністю існуючих ефективних моделей дозволяє зробити висновок про необхідність використання сучасних інтелектуальних технологій. Зокрема було обґрунтовано застосування, наступних методів: нечітке логічне виведення, експертні системи, інтелектуалізовані агенти та мультиагентні системи.

5. Було розроблено підхід до автоматизації динамічного оперативного керування, що дозволяє шляхом багатоітераційного перебирання значень ВДП із використанням побудованої концептуальної моделі обрати такі з них, які здатні адекватно задовольняти властивостям та обмеженням певної ГВС. Запропонований підхід до автоматизації відрізняється створенням строгої узагальненої моделі вибору СОУ, що базується на гнучких інтелектуалізованих мультиагентних конфігураціях агентно-орієнтованих підсистем для кожної властивості.

6. Створено алгоритмічне та програмне забезпечення СДОК у вигляді системи підтримки прийняття рішень, яка дозволяє розв'язувати задачі проектування або налагодження систем управління ГВС, у процесі професійної діяльності проектувальника чи оператора. Даний програмний комплекс, на відміну від існуючих, дозволяє у зручній формі поєднувати використання мультиагентних систем та нечіткої логіки та надає можливість практичного використання у якості СППР з можливістю перенаправлення керуючих впливів до відповідних модулів ОК.

7. Запропоновано вдосконалення мультиагентного методу оперативної диспетчеризації ГВС шляхом використання системи нечіткого виведення на основі розробленої бази правил. Це дозволяє агентам транспортних модулів самостійно визначати пріоритет обрання завдання на транспортне обслуговування. Даний підхід, на відміну від існуючого підходу на основі міжагентної комунікації за протоколом CNet, дозволяє агентам приймати рішення не чекаючи відповіді решти агентів.

8. Результати моделювання роботи СДОК та вирішення експериментальних задач демонструють, що СОУ, налаштована рекомендованими системою оперативного динамічного керування значеннями показників, показала вищу продуктивність за обраними критеріями: тривалість періоду обробки – на 10,4% та середній час очікування – на 12%. Отримані результати дозволяють зробити висновки про перспективність застосування СДОК, що містить СППР на основі ГІМАС для налаштування значень показників системи оперативного управління.

9. Запропонований у роботі підхід до динамічного оперативного керування носить узагальнюючий характер та може бути застосований для динамічного корегування показників оперативного управління об'єктами різної природи. Для реалізації цього підходу мають бути виконані етапи, що докладно викладені у роботі, зокрема: визначення набору вирішальних динамічних показників ОК, створення класифікатору ВДП та логічної послідовності налаштування їх значень, визначення вимог та обмежень щодо ОК і середовища його функціонування, побудова узагальненої моделі ОК, визначення кількісних значень реляційних зв'язків між показниками та обмеженнями ОК (наприклад, на основі експертних методів), застосування розроблених алгоритмів з синтезу та безпосереднього використання гнучкого інтелектуалізованого мультиагентного середовища для вибору раціональних значень НДП.