

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

На правах рукопису

ДЗІНЬКО РОСТИСЛАВ ІГОРОВИЧ

УДК 519.718

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ
ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ**

Спеціальність: 05.13.07 – Автоматизація процесів керування

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Лісовиченко Олег Іванович,
кандидат технічних наук, доцент

Київ – 2016

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ	13
1.1. Показники надійності автоматизованих систем управління	13
1.2. Аналіз методів розрахунку надійності системи оперативного управління	24
1.3. Аналіз типів систем оперативного управління в ГВС	29
1.4. Аналіз структури СОУ ГВС з синхронною моделлю	36
1.5. Аналіз функцій та задач СОУ ГВС	41
1.6. Аналіз роботи СОУ ГВС при нештатних ситуаціях.....	51
1.7. Мета та задачі досліджень.	55
1.8. Висновки до першого розділу	57
2. ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ТА ДІАГНОСТИКА ІВС СОУ ГВС.....	58
2.1. Структурна та функціональна декомпозиція ІВС СОУ ГВС для побудови карти надійності	58
2.2. Побудова моделі ІВС СОУ ГВС як карти надійності	62
2.3. Розрахунок показників надійності СОУ ГВС на базі карти надійності	68
2.4. Розробка системи діагностики нештатних ситуацій ІВС СОУ ГВС	73
2.5. Висновки до другого розділу.....	78
3. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ РЕЗЕРВУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ІВС СОУ ГВС	79
3.1. Резервування апаратної складової ІВС СОУ ГВС.....	79
3.2. Інформаційне резервування ІВС СОУ ГВС.....	88
3.3. Розробка імітаційної моделі виробничого процесу СОУ ГВС на базі апарату прихованих марківських моделей	94
3.4. Умови застосування методу ПММ до підвищення надійності роботи СОУ ГВС	101
3.5. Висновки до третього розділу	109
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ІМІТАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПІДХОДУ ДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ІВС СОУ ГВС.....	110
4.1. Вибір засобів імітаційного моделювання	110
4.2. Розробка імітаційної моделі виробництва	116
4.3. Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів	118

ВИСНОВКИ	135
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	136
ДОДАТОК А	147
ДОДАТОК Б.....	155
ДОДАТОК В.....	158

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АНС	-	автоматизована навчаюча система
АПК	-	апаратно-програмний комплекс
АС	-	автоматизована система
АСНД	-	АС наукових досліджень
АСТПВ	-	АС технологічної підготовки виробництва
АСУ	-	АС управління
АСУТП	-	АС управління технологічними процесами
АТМ	-	автономний транспортний модуль
БД	-	база даних
ГВМ	-	гнучкий виробничий модуль
ГВС	-	гнучка виробнича система
ГКІС	-	гнучка комп'ютерно-інтегрована система
ДПС	-	дискретно-подійна система
ІВС	-	інформаційно-вимірювальна система
НМ	-	нейронні мережі
ОМ	-	об'єкт моделювання

ПЗ	- програмне забезпечення
ОУ	- об'єкт управління
ПП	- продукційні правила
ПМЗ	- програмно-математичне забезпечення
САПР	- система автоматизованого проектування
СОУ	- система оперативного управління
СОУ МП	- СОУ матеріальними потоками
СП	- сітка Петрі
ТО	- технічне обслуговування
ТП	- технологічний процес
ТК	- технологічна комірка
ТС	- технічна система

ВСТУП

Як показує досвід, набутий як економіками зарубіжних країн, так і вітчизняною економікою, гнучкість автоматизованих технологічних процесів при зростанні питомої ваги багатомономенклатурного серійного виробництва забезпечується організацією останнього згідно з ієрархічним та модульним принципами. Основу такого виробництва складають *гнучкі комп'ютерно-інтегровані системи* (ГКІС).

Перехід до такої категорії систем виробництва ґрунтується на новітніх тенденціях, що полягають у технічному вдосконаленні та ускладненні компонентів таких систем, функцій, що вони виконують, а підвищення ефективності виробництва забезпечується їх скоординованою роботою і організацією *надійного гнучкого управління*. Практика показує, що проблемам надійності приділяється недостатня увага, тобто такого роду дослідження не встигають за зростаючою складністю систем, їх компонентів та зв'язків, що може призводити до збоїв, перерв, та зривів планових строків виготовлення продукції, чи надання сервісів клієнтам підприємств. Гнучке комп'ютерно-інтегроване виробництво на найвищому рівні є ланцюжком, що представляє собою перехід від стадії наукових досліджень до готової виробничої системи, що схематично можна подати як: АСНД → САПР → АСТПВ → ГВС [90].

Основним управляючим компонентом ГВС є система *оперативно технологічного контролю та автоматичного управління* (ОТАСУ), яку можна розділити за своїми задачами на систему оперативного управління (СОУ) та систему автоматичного управління технологічними процесами (АСУТП). Згадані системи постійно удосконалюються, постійно розширюється коло виконуваних ними завдань по керуванню, що призводить до зростання складності як апаратної, так і програмної керуючої частини. Це зумовлено тим, що завдання поглиблення автоматизації процесів керування є одним з найважливіших завдань, що виходять на передній план останні десятиліття.

Керуючою структурою в ГВС є система оперативно-диспетчерського управління, яку часто називають просто системою оперативного управління (СОУ), або ж системою оперативного управління матеріальними потоками (СОУ МП), що реалізує принцип управління зі зворотнім зв'язком.

Реалізація функцій СОУ сучасними засобами є не просто технічною системою, а складним комплексом, до якого додаються електронно-обчислювальні засоби, а саме керування здійснюється шляхом розробки і застосування програмно-математичного забезпечення (ПМЗ). Останнє з кожним роком займає все більший відсоток в загальній структурі параметрів СОУ.

В зв'язку з вищесказаним очевидним стає *зростання питомої ваги інформаційних потоків в СОУ*, а, отже, в структурі управління гнучким виробництвом, що виводить на передній план інформаційно-вимірювальну систему (ІВС) СОУ ГВС як центральний компонент, що забезпечує збір, передачу, та збереження даних про стан та хід виробництва. На підставі отриманих за допомогою ІВС СОУ ГВС даних і здійснюється оперативно-технологічне управління виробництвом.

Таким чином ефективність та надійність управління виробничими системами прямим чином залежить від точності та своєчасності отриманої інформації, зібраної засобами ІВС, та переданої керуючим вузлам СОУ ГВС для здійснення власне функції управління. Факти виникнення програмних та апаратних збоїв, а також апаратних пошкоджень в процесі роботи гнучкого виробництва призводять до виходу з ладу, або погіршення ефективності управління, що приводить до думки про важливість досліджень програмно-апаратного комплексу ІВС СОУ ГВС на предмет надійності, а саме визначення кількісних параметрів надійності, та здійснення пошуку шляхів їх покращення.

Інформаційне забезпечення є одним з основних видів забезпечення систем, що досліджуються на предмет надійності. Це поняття складно формалізувати, оскільки складається воно з багатьох різнопланових компонентів:

- фізичних та математичних моделей, які гомоморфною відображають функціонування досліджуваної системи при виконанні серії необхідних функцій;
- бази даних розрахункових та експлуатаційних параметрів та характеристик;
- алгоритмічне забезпечення різних підсистем досліджуваної системи;
- програмне забезпечення реалізації математичного та алгоритмічного забезпечення.

Таким чином, задача підвищення надійності СОУ ГВС для свого повного чи часткового вирішення потребує комплексного підходу, що враховував би особливості структури та функціонування як апаратного, так і програмно-математичного забезпечення СОУ ГВС.

Актуальність теми. Науково-технічні проблеми дослідження надійності автоматизованих систем керування залишаються актуальними на сучасному етапі розвитку науки і техніки, який характеризується значним проникненням інформаційних технологій в усі галузі виробництва.

Серед вчених, що внесли вклад в дослідження проблем надійності технічних систем, можна відзначити А. М. Колмогорова, В. І. Романовського, Дж. фон Неймана, К. Пірсона, О. Я. Хінчина, Б. В. Гнеденко, П. О'Коннора, Дж. Сміта, Дж. Мартіна.

Сучасні керуючі системи, зокрема системи оперативного управління (СОУ) гнучких виробничих систем (ГВС) є складними апаратно-програмними комплексами (АПК), які вже зараз прийнято розділяти на апаратну та інформаційну під-системи, що особливо важливо в контексті дослідження інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) як складових СОУ ГВС.

Особливої уваги заслуговує, зокрема, інформаційне забезпечення, що включає фізичні та математичні моделі, а також алгоритмічне та програмне забезпечення, необхідне для виконання системою її функцій. Воно є менш дослідженим з точки зору проблем надійності, хоча його питома вага в загальній структурі впливу на показники надійності інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) СОУ ГВС зростає

з кожним роком. Саме тому інформаційна складова є важливим полем для пошуку способів удосконалення ІВС СОУ ГВС з точки зору проблем надійності.

В умовах зростання відсотку дрібносерійного та багатомономенклатурного виробництва, що спричиняє швидку зміну середовища функціонування систем управління, актуальність проблематики надійності ІВС СОУ ГВС часто виходить на передній план як на етапі проектування, так і на етапі експлуатації гнучких виробничих систем.

Дана дисертаційна робота є продовженням досліджень і розробок методів забезпечення надійності роботи автоматизованих систем керування взагалі та надійності роботи СОУ ГВС зокрема.

Об'єктом дослідження є система оперативного управління гнучкою виробничою системою.

Предметом дослідження є методи підвищення надійності СОУ ГВС.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є збільшення тривалості безвідмовної роботи технологічних процесів ГВС за рахунок покращення показників надійності системи оперативного управління гнучких виробничих систем.

Для досягнення поставленої мети в роботі визначені наступні завдання:

Дослідження показників надійності СОУ ГВС.

Дослідження структури, завдань та функцій існуючих СОУ ГВС.

Аналіз методів підвищення надійності роботи апаратної та інформаційної складових інформаційно-вимірювальної підсистеми СОУ ГВС.

Розробка математичної моделі для розрахунку показників надійності ІВС СОУ ГВС .

Розробка комплексного набору рекомендацій щодо застосування методів резервування надійності технічних систем до інформаційно-вимірювальної підсистеми СОУ ГВС.

Розробка інформаційного способу резервування шляхом створення імітаційної

моделі виробництва на базі апарату прихованих марківських моделей з можливістю застосування в процесі здійснення керування технологічними процесами.

Розробка імітаційної моделі та її програмної реалізації для проведення експериментальних досліджень, а також підтвердження ефективності використання отриманих теоретичних результатів дисертаційної роботи.

Методи дослідження – математичний апарат прихованих марківських моделей, математичний апарат сіток Петрі, теорія ймовірностей, елементи теорії математичної статистики, теорія надійності технічних систем, марківські процеси, приховані марківські моделі, теорія інформації та кодування, дискретно – подійне моделювання систем, технологія представлення даних JSON як універсальний засіб збереження та передачі даних.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в наступному:

вперше запропоновано комбінований метод підвищення надійності СОУ ГВС шляхом , що включає комплексний підхід до резервування одночасно апаратної та інформаційної складової інформаційно-вимірювальної підсистеми СОУ ГВС;

удосконалено модель ІВС СОУ ГВС як об'єкта діагностування, та запропоновано метод діагностування відмов ІВС СОУ ГВС, запропоновано модифіковану приховану марківську модель технологічного процесу, що зворотно сумісна з математичним апаратом сіток Петрі;

розроблено метод інформаційного резервування вимірювально-обчислювального комплексу СОУ ГВС з застосуванням засобів прихованих марківських моделей; даний метод дозволяє забезпечувати виконання оперативного керування виробничим процесом, оскільки не потребує моделювання роботи всього вимірювально-обчислювального комплексу (ВОК) СОУ ГВС, а лише його частини.

Практичне значення отриманих результатів роботи:

Розроблено алгоритмічний метод підвищення надійності роботи СОУ ГВС на базі математичного апарату прихованих марківських моделей. Розроблено

імітаційну модель СОУ ГВС, а також її програмну реалізацію, що дозволяє вивчати застосування розробленого методу інформаційного резервування, аналізувати результати його роботи. Сформовано комплексний підхід до підвищення надійності роботи СОУ ГВС з синхронною моделлю, що враховує як апаратне, так і математично-програмне забезпечення СОУ.

Особистий вклад здобувача. Усі результати, що складають основний зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. Автором особисто проведений аналітичний огляд відомих досліджень методів підвищення надійності роботи автоматизованих систем в загальному, а також систем управління зокрема. Проведено аналіз методів та підходів щодо підвищення надійності управління виробництвом СОУ ГВС, а також обґрунтований вибір компонентів, які потребують удосконалення, з точки зору теорії надійності систем.

Розроблений метод інформаційного резервування, а також відповідне програмне забезпечення для моделювання роботи СОУ ГВС як в штатному, так і в множині позаштатних режимів роботи. В роботі наведені результати досліджень, що були отримані особисто автором. У випадку, коли використовувалась відома інформація, на неї наводились посилання на відповідні джерела та їх авторів

Зв'язок з науковими роботами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках дослідницької та науково-методичної роботи кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», а також в рамках участі в міжнародному проекті «Подвійний магістерський диплом з автоматизації / мехатроніки країн ЄС – країн партнерів» №517138-TEMPUS-1-2011-1-CZ-TEMP-JPCR.

Апробація результатів роботи. Основні тези дисертації були подані та обговорені на наступних науково-технічних конференціях: міжнародна науково-технічна конференція «Автоматика: Проблеми, ідеї, рішення», м. Севастополь 5-10 вересня 2013р.; «Конференція молодих вчених», м. Київ, ІПМС ім. Пухова, 16-17

січня 2013 р.; конференція «Автоматика: Проблеми, ідеї, рішення», м. Севастополь 5-10 вересня 2014 р.; конференція «Автоматика-2014», м. Київ, НТУУ «КПІ», 15 вересня 2014 року.

Публікації. Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковано в 11 друкованих працях, у тому числі: 8 статтях у наукових фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз, та 3 тезах доповідей в збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

1.1. Показники надійності автоматизованих систем управління

Означення 1.1. Надійність автоматизованої системи управління – це здатність системи виконувати задані функції управління, зберігаючи при цьому в часі значення необхідних експлуатаційних показників, визначених в заданих межах при заданих умовах експлуатації [92].

Надійність систем управління напряду впливає на такий показник функціонування технічних систем як ефективність. При цьому надійність всієї системи залежить як від кожного окремого компонента системи, так і від компонентів, що забезпечують їх взаємодію. Недостатня надійність систем управління призводить не тільки до простоїв виробничих систем як об'єктів управління, а і до подорожчання їх експлуатації [105].

З кожним роком вимоги до надійності систем автоматизованого управління зростають, а зусилля, що прикладаються до підвищення надійності ТС часто є недостатніми для відповідності новим викликам часу.

Можна виділити наступні причини, які визначають необхідність підвищення уваги до проблем надійності ТС:

- підвищення складності систем, а також поява складних систем;
- підвищення важливості виконуваних компонентами систем функцій;
- ускладнення умов експлуатації систем;
- відставання швидкості росту надійності комплектуючих від швидкості росту кількості комплектуючих в системах.

Основною метою аналізу систем управління на надійність є досягнення однієї

чи декількох наступних цілей:

- встановлення закономірностей виникнення відмов в системі під впливом внутрішніх та зовнішніх впливів;
- виконання розрахунків параметрів надійності системи;
- виконання пошуку способів підвищення надійності як системи в цілому, так і кожного компонента окремо;
- виконання прогнозування відмов.

З точки зору теорії надійності, система повинна, для можливості виконання необхідних аналітичних дій, володіти наступними особливостями:

- мати задану ієрархічну структуру;
- переслідувати певну ціль, висловлену у вигляді вимог до функціонування системи;
- мати задані умови експлуатації.

В теорії надійності систем, базовими термінами, якими оперують є:

Означення 1.2. *Компонент* – це елемент, що розглядається на найнижчому ієрархічному рівні при аналізі системи.

Означення 1.3. *Система* – сукупність взаємопов'язаних та взаємодіючих компонентів.

Поняття системи в даному випадку є до певного ступеня умовним, оскільки під системою можна розуміти будь-який об'єкт, що досліджується на предмет надійності – від окремого ГВМ до СОУ ГВС чи ГВС в цілому.

Всі системи з точки зору надійності можна розділити на дві великі категорії (рис. 1.1).

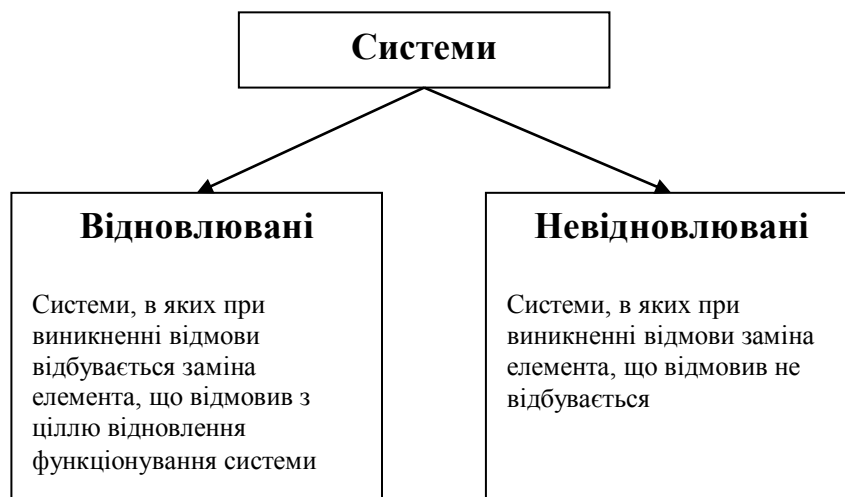


Рисунок 1.1. Категорії систем з точки зору теорії надійності

Важлива властивість ієрархічності досліджуваних на предмет надійності систем визначає методологію розрахунків параметрів надійності, оскільки, як правило, шляхом аналізу чи проведення експериментів, визначаються характеристики надійності компонентів системи, що знаходяться на найнижчому ієрархічному рівні, а сукупні характеристики надійності визначаються за певними конкретними методиками розрахунків надійності групи компонентів системи [105].

З точки зору надійності, елементи та компоненти системи, як і система в цілому можуть знаходитись в одному з наступних п'яти станів (рис 1.2):

1. Справний – це стан об'єкта, при якому він відповідає всім вимогам конструкторської та нормативно-технічної документації.

2. Несправний – це стан об'єкта, при якому він не відповідає принаймні одній з вимог конструкторської чи нормативно-технічної документації.

3. Працездатний – це стан об'єкта, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції відповідають вимогам конструкторської чи нормативно-технічної документації.

4. Непрацездатний – це стан об’єкта, при якому значення хоча б одного параметра, що характеризує здатність виконувати задані функції не відповідає вимогам конструкторської чи нормативно-технічної документації.

5. Граничний – це стан об’єкта, при якому подальша експлуатація недопустима чи недоцільна, або відновлення працездатного стану є неможливим чи недоцільним.

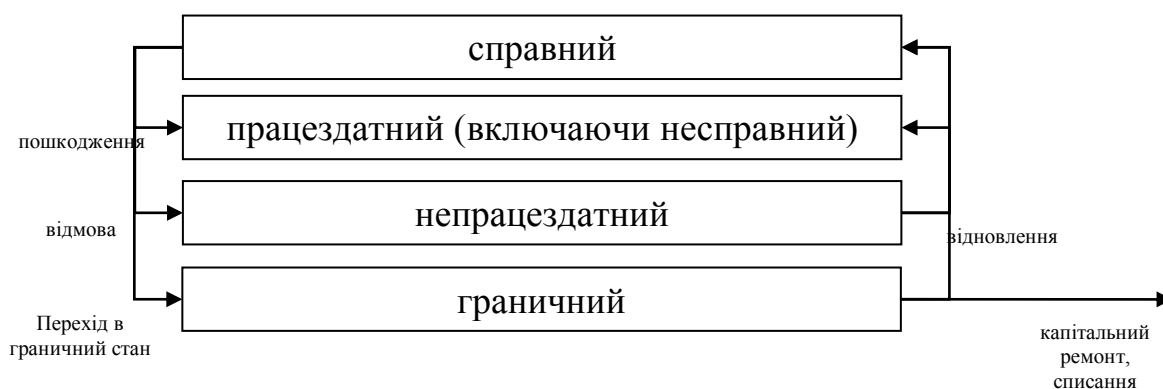


Рисунок 1.2. Переходи між станами елементів системи

Означення 1.4. Показником надійності є кількісна характеристика одного чи декількох властивостей, що складають надійність певного об’єкта досліджень. Показники надійності різняться за (рис. 1.3):

- характером об’єкту оцінки;
- шляхом отримання показника надійності.

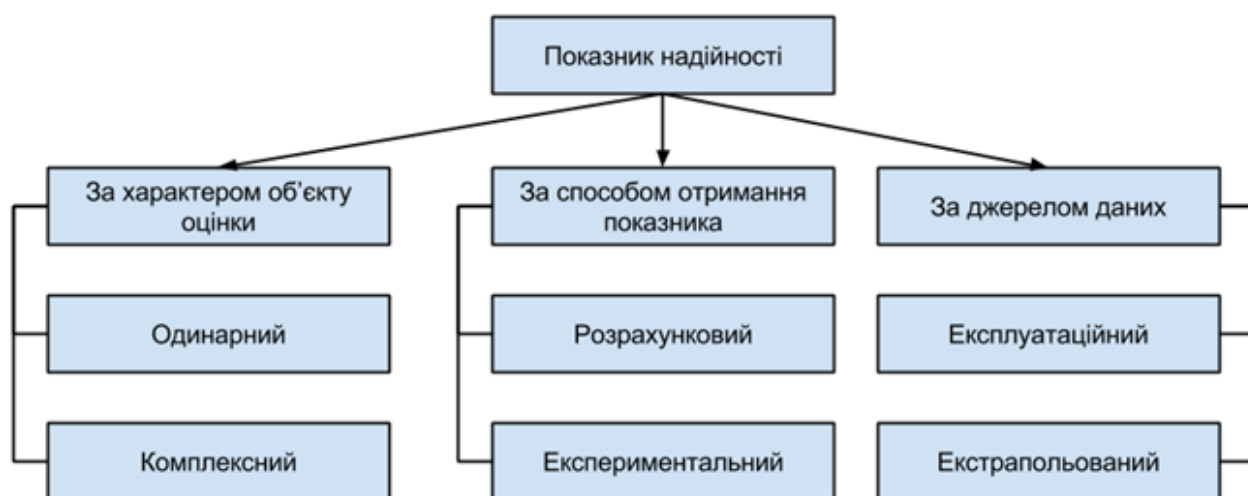


Рисунок 1.3. Показники надійності автоматизованих систем управління.

Оди́нарний показник характеризує одну із властивостей, що складають надійність об'єкта.

Комплеќсний показник описує декілька властивостей, що складають надійність об'єкта.

Розраху́нковий показник – це показник, отриманий в результаті розрахунків на базі отриманих даних.

Експеримента́льний показник отримується в результаті виконання точкової чи інтервальної оцінки за результатами виконання вимірювальних експериментів.

Експлуата́ційний показник отримується в результаті виконання точкової чи інтервальної оцінки за результатами виконання вимірювальних експериментів під час експлуатації об'єкта.

Екстрапо́льований показник надійності отримується в результаті точкової чи інтервальної оцінки на базі результатів досліджень, розрахунків чи експлуатаційних даних шляхом екстраполяції на іншу протяжність експлуатації і інші умови експлуатації.

Як бачимо з визначень, показники надійності базуються в першу чергу на апаратах теорії ймовірностей та математичної статистики [2, 14, 25].

Зазвичай при виконанні досліджень систем управління та технічних систем в загальному говорять про досягнення безвідмовної роботи, і саме тому практично всі параметри надійності технічних систем відштовхуються від такого поняття як *показники безвідмовної роботи*.

Ймові́рність безвідмовної роботи – це ймовірність того, що в межах заданого напрацювання на відмову (в деякому заданому інтервалі часу t) не виникне відмови об'єкта дослідження. Ця характеристика пов'язана з функцією розподілу часу безвідмовної роботи наступним співвідношенням:

$$P(t) = 1 - Q(t), \text{ де} \quad (1.1)$$

$P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи об'єкта;

$Q(t)$ – функція розподілу часу безвідмовної роботи, що відображає ймовірність появи відмови протягом деякого часу t .

При цьому для визначення величини $P(t)$ використовується наступна статистична оцінка:

$$P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \text{ де} \quad (1.2)$$

N_0 – кількість поставлених випробувань;

$n(t)$ – кількість відмов в роботі, що відбулись за період часу t .

Аналогічним чином, можна визначити і такий показник надійності систем управління як *показник безперебійної роботи*, тобто ймовірність того, що в деяку заданому інтервалі часу t збоїв в роботі системи чи її елементів будуть відсутніми:

$$P_c(t) = 1 - Q_c(t), \text{ де} \quad (1.3)$$

$P_c(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи;

$Q_c(t)$ – функція розподілу часу безперебійної роботи, що репрезентує ймовірність появи збою протягом певного періоду часу t .

Для визначення величини $P_c(t)$ використовується така статистична оцінка:

$$P_c^*(t) = \frac{N_0 - n_c(t)}{N_0}, \text{ де} \quad (1.4)$$

N_0 – кількість проведених випробувань;

$n(t)$ – кількість збоїв в роботі, що відбулись за період часу t .

Ще одним важливим показником надійності є частота відмов.

Частота відмов – це величина, фізичний зміст якої полягає в відображенні щільності розподілу відмов або похідну від ймовірності безвідмовної роботи:

$$a(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt} \quad (1.5)$$

Для визначення цієї величини використовується наступна статистична оцінка:

$$a^*(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad \text{де} \quad (1.6)$$

$n(\Delta t)$ – кількість відмов в часовому інтервалі від $(t - \Delta t/2)$ до $(t + \Delta t/2)$. При цьому між частотою відмов, ймовірністю безвідмовної роботи та ймовірністю відмови існують такі залежності:

$$Q(t) = \int_0^t a(x) dx; P(t) = 1 - \int_0^t a(x) dx \quad (1.7)$$

Проста залежність між величиною $a(t)$ та величинами $Q(t)$ і $P(t)$ є безумовним плюсом такого показника як частота відмов. Аналогічним чином можна визначити і частоту збоїв.

Наступним важливим показником є *інтенсивність відмов* – умовна щільність ймовірності виникнення відмови, що визначається при умові відсутності відмов до моменту часу, коли розглядається даний показник. Визначається як:

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} \quad (1.8)$$

Таким чином, оскільки, $P(t) \leq 1$, очевидним стає той факт, що завжди виконується співвідношення:

$$\lambda(t) \geq a(t) \quad (1.9)$$

Для визначення величини $\lambda(t)$ використовується така статистична оцінка:

$$\lambda^*(t) = \frac{n(t)}{N_{\text{сер}} \cdot \Delta t}, \text{ де} \quad (2.10)$$

$N_{\text{сер}} = (N_I + N_{I+1})/2$ – середня кількість безвідмовно працюючих елементів на деякому інтервалі часу Δt .

З вищеописаного, а саме з формули (1.9) витікає важлива властивість, що характерна для високонадійних систем: якщо $P(t) \geq 0.99$, то $a(t) \approx \lambda(t)$. При цьому тут допускається помилка, що складає не більше 1% і, як правило, не перевищує похибки, що виходить із статистичного розподілу величин $a(t)$ та $\lambda(t)$.

Тут важливо зазначити, що ймовірність $a(t)dt$ описує ймовірність відмови системи чи її компонента в певному проміжку часу $(t, t + dt)$, що взяті випадковим чином з угруповання таких же систем чи елементів, при цьому залишається невідомим, в якому стані (працездатному чи непрацездатному) знаходиться і цей момент система в цілому, чи її компонент.

В цей же час ймовірність $\lambda(t)dt$ описує ймовірність відмови системи чи її компонента в певному проміжку часу $(t, t + dt)$, що взяті з угруповання систем чи елементів, які залишились в працездатному стані до певного моменту часу t .

Таким чином, знаходимо зв'язок між ймовірністю безвідмовної роботи системи і інтенсивністю відмов, інтегруючи вираз, представлений формулою (1.8):

$$-\int_0^t \lambda(x)dx = \ln P(t) \Rightarrow P(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(x)dx\right] \quad (1.11)$$

Така залежність встановлює зв'язок між ймовірністю безвідмовної роботи об'єкта досліджень на надійність та його інтенсивністю відмов, і часто називається *основним законом надійності*.

Часто зустрічається випадок, коли $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$, тоді:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad a(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (1.12)$$

Такий закон розподілу називається експоненціальним розподілом часу безвідмовної роботи, а графічне зображення $\lambda(t) - \lambda$ – характеристикою об'єкта. Багаторічний досвід експлуатації технічних систем показує, що така характеристика має вигляд, зображений на рис. 1.4.



Рисунок 1.4. Графічне зображення λ – характеристики технічних систем.

Три ділянки, зображені на рис. 1.4. демонструють три характерні етапи експлуатації технічних систем.

Перша ділянка, що визначається інтервалом $(0 - t_1)$, позначає період приробки об'єкта, тобто нової системи, яка введена в експлуатацію. Для цього періоду характерна довжина в декілька десятків чи навіть сотень годин, а також визначення грубих дефектів виробництва та перед експлуатаційної підготовки.

Друга ділянка, визначена інтервалом $(t_1 - t_2)$, позначає період *нормальної експлуатації*, коли інтенсивність відмов знижена після періоду приробки і має зазвичай, константне значення.

Остання, *третя ділянка*, визначена інтервалом $(t_2 - \infty)$, зазвичай позначає період часу перед кінцевою виробкою ресурсу системи, що зумовлена інтенсивними процесами старіння елементів системи. При цьому момент часу t_2 може служити точкою капітального ремонту чи заміни системи або певного її елемента.

Середнє напрацювання на відмову T позначає математичне очікування напрацювання системи до виникнення першої відмови.

Середнє напрацювання між відмовами (напрацювання між відмовами) – це напрацювання об'єкта від закінчення відновлення його працездатного стану після відмови до виникнення наступної відмови.

$$T = \int_0^{\infty} t a(t) dt \quad (1.13)$$

Якщо провести інтегрування даного виразу (1.13), він може бути приведений до наступного вигляду:

$$T = \int_0^{\infty} t a(t) dt = - \int_0^{\infty} t \cdot P(t) = t \cdot P(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (1.14)$$

Якщо врахувати той факт, що $t \geq 0, P(0) = 1, P(\infty) = 0$, отримаємо кінцевий вигляд даної величини, що можна виразити в наступній формулі:

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (1.15)$$

Враховуючи експоненціальний закон розподілу часу безвідмовної роботи системи:

$$T = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} = \lambda^{-1} \quad (1.16)$$

В термінах статистичних оцінок, оцінити середнє напрацювання на відмову можна за допомогою такого виразу:

$$T^* = N_0^{-1} \cdot \sum_{i=1}^{N_0} t_i, \text{ де} \quad (1.17)$$

t_i – зафіксований випробування час безвідмовної роботи, або час до закінчення відновлення його працездатного стану після відмови до виникнення наступної відмови. Оскільки, визначити дану величину досить складно для кожного компонента системи, то для отримання статистичної оцінки середнього напрацювання на відмову, можна скористатись наступною, хоча і менш точною формулою:

$$T^* = N_0^{-1} \cdot \sum_{k=1}^m n_k t_{cpk}, \text{ Дє} \quad (1.18)$$

$t_{cpk} = 0.5(t_{k-1} + t_k)$, $m = \frac{t_n}{\Delta t_k}$, t_n – час, протягом якого всі елементи чи системи вийшли з ладу, або час спостереження за об'єктом, над яким ведуться відновлювальні роботи, Δt_k – величина інтервалу спостереження, n_k – кількість елементів, що вийшли з ладу на інтервалі часу Δt_k .

Середнє напрацювання між відмовами – це відношення сумарного напрацювання об'єкта, що піддається відновленню до математичного очікування кількості його відмов протягом цього напрацювання.

Гамма – процентне напрацювання на відмову t_γ – це напрацювання, протягом якого відмови об'єкта не виникає з ймовірністю γ , що, зазвичай, виражається у відсотках, тобто $P(t_\gamma) = \gamma/100$

Показники середнього напрацювання дозволяють виконувати порівняння двох різних об'єктів на предмет надійності, коли закон розподілу часу безвідмовної роботи є для них обох однотипним. Якщо ж у двох об'єктів закони розподілу цієї величини є різними, порівняння таких об'єктів за одним лише згаданим критерієм є неможливим, тому в таких випадках часто застосовують такий критерій як *середня доля безвідмовного напрацювання*:

$$I(t) = t^{-1} \cdot \int_0^1 P(x) dx \quad (1.19)$$

На основі вищенаведеного аналізу показників надійності можна зробити висновок, що первинними показниками надійності є ймовірність безвідмовної роботи на певному заданому відрізку часу, інтенсивність відмов, а також середній час безвідмовної роботи.

Також слід зазначити, що, оскільки, показники надійності цілої системи визначаються виходячи з показників надійності кожного компоненту, а також їх

взаємозв'язків, надалі слід розглянути методи їх розрахунку.

1.2. Аналіз методів розрахунку надійності системи оперативного управління

Розрахунком надійності називають розрахунки, що спрямовані на визначення кількісних показників надійності. При цьому розрахунки даного характеру виконуються як на етапі проектування СОУ ГВС (з ціллю прогнозування надійності системи, що проектується), та і на етапі випробувань та експлуатації (для оцінки кількісних характеристик надійності вже спроектованої системи) [8, 10, 15].

Такого роду розрахунки проводяться для різних цілей, і саме цими цілями визначається характер і порядок їх проведення. Серед основних типів розрахунків можна виділити наступні:

- *розрахунок елементної надійності*, що виконується для визначення надійності певного елемента як складової системи;
- *розрахунок функціональної надійності*, що визначає показники надійності, зумовлені множиною функції і завдань, що виконуються системою.

Інші розрахунки є похідними і зазвичай типізуються в залежності від характеристик окремих елементів системи чи певних особливостей системи в цілому (рис. 1.5.)

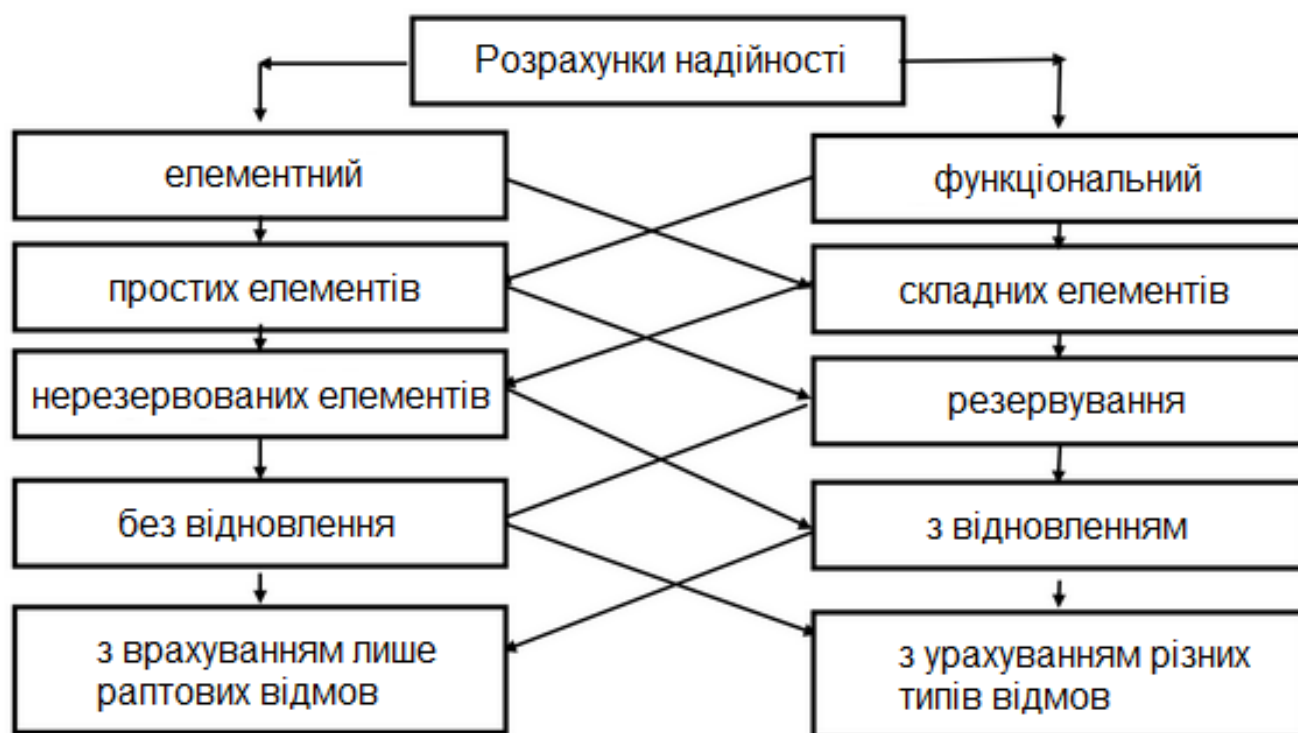


Рис. 1.5. Класифікація розрахунків надійності.

В якості вхідних даних для виконання розрахунків показників надійності системи маємо:

- детальну структуру СОУ ГВС та її компонентів (промислові датчики, системи резервного живлення, промислові контролери, кабельні системи зв'язку, мережеве обладнання (концентратори та мости), ...), що є важливим як на етапі проектування, так і на етапі випробувань і експлуатації;

- режими роботи всіх елементів (електричні, кліматичні, механічні, ...), що регламентуються виробником обладнання;

- статистичні значення інтенсивності відмов всіх елементів при номінальних та фактичних режимах роботи вказаного обладнання, а заодно і значення середнього часу безвідмовної роботи і дисперсії.

В якості узагальнення можна привести схему порядку виконання розрахунків надійності СОУ ГВС (рис. 1.6), що виконується з ціллю отримання комплексних показників надійності на базі елементних та функціональних розрахунків.

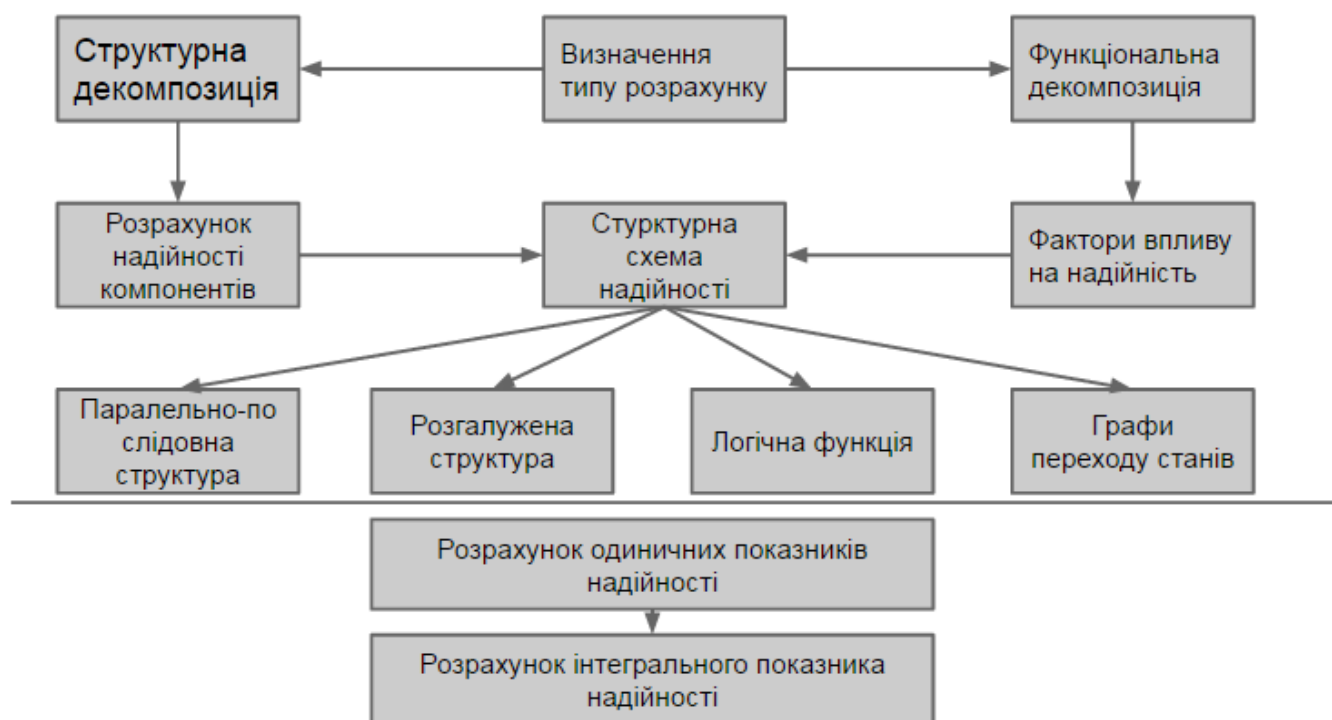


Рис. 1.6. Схема розрахунку комплексного показника надійності.

На базі приведеної схеми (рис. 1.6) будується покрокова рекомендація щодо порядку виконання комплексного показника надійності:

1. Структурний аналіз СОУ ГВС, розбиття системи на окремі первинні елементи, для яких відомі базові показники надійності, як інтенсивність відмов тощо, що надаються виробниками обладнання, або значення яких отримані експериментальним шляхом на базі досвіду попередньої експлуатації.

2. Формування множини раптових відмов для кожного елементу та, відповідно, системи в цілому, якщо при відмові конкретного елемента система переходить в непрацездатний стан. Формування множини поступових відмов, що обумовлені поступовими змінами характеристик надійності в процесі експлуатації СОУ ГВС.

3. Формування логічної та структурної схеми розрахунку надійності, тобто наглядного подання у вигляді графічних чи аналітичних викладок умов, при яких СОУ знаходиться в працездатному стані.

4. Визначення характеристик безвідмовності в роботі елементів, що входять до системи, при цьому елементи групуються окремо на відновлювані та невідновлювані.

5. Визначення характеристик надійності для відновлюваних елементів системи.

6. Перерахунок характеристик надійності з врахуванням застосування методів резервування елементів та блоків елементів системи, що формують вже реальний кінцевий розрахунок надійності СОУ ГВС.

Структурна схема карти надійності використовується в інженерних розрахунках надійності СОУ ГВС з ціллю забезпечення наглядного зображення компонентів та зв'язків між ними, що забезпечують працездатність системи. Окрім того, при побудові карти надійності слід враховувати такі дані як:

- функції, що виконує система;
- параметри ефективності і допустимі обмеження по зміні робочих параметрів елементів СОУ ГВС;
- режими експлуатації та дані про умови оточуючого середовища.

Карта надійності будується на базі визначення паралельних та послідовних структур поєднання елементів в систему, при цьому використовуються наступні правила:

- якщо для функціонування системи необхідною умовою є функціонування всіх блоків, то відповідною підструктурою системи є така схема, в якій всі ці блоки поєднані послідовно (рис 1.7, а);

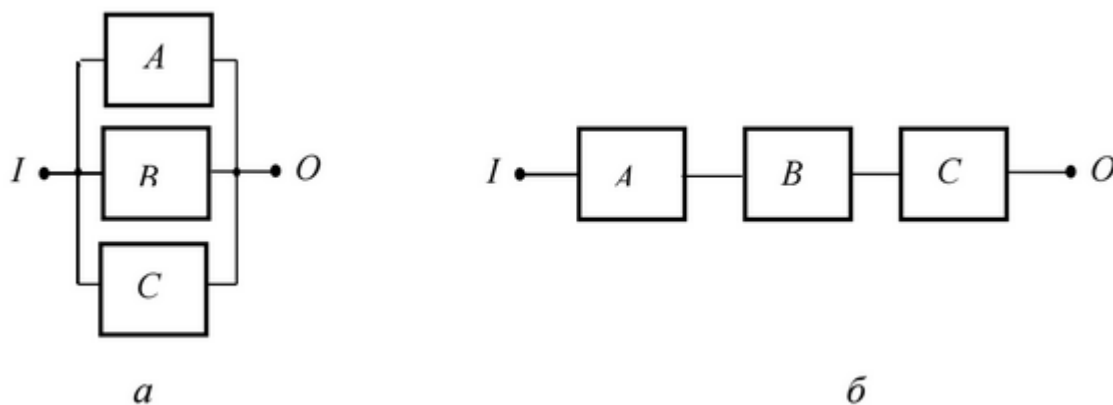


Рис. 1.7. Паралельна (а) та послідовна (б) компоновки елементів в структурній карті надійності.

– якщо для того, щоб система перейшла в непрацездатний стан необхідно, щоб з ладу вийшло одночасно два чи більше елементів, застосовується паралельна структура (рис. 1.7, б).

Розглянемо розрахунок паралельної компоновки на карті надійності. Нехай існують деякі події a, b, c , що визначають працездатний стан системи елементів A, B, C . Тоді умову працездатності всього компонуванняльного вузла можна висловити наступним правилом: *система залишається працездатною, якщо працездатними є A або B або C , або $A \text{ і } B$, або $A \text{ і } C$, або $B \text{ і } C$, або $A \text{ і } B \text{ і } C$.*

Дану умову можна записати у вигляді логічної функції:

$$F_a = a \vee b \vee c \vee a \wedge b \vee a \wedge c \vee b \wedge c \vee a \wedge b \wedge c \quad (1.20)$$

Виконавши мінімізацію та спрощення виразу (1.20) з використанням апарату булевої алгебри, отримаємо:

$$F_a = a + b + c - (ab + ac + bc) + abc \quad (1.21)$$

Очевидно, що, якщо замінити події у виразі (1.21) ймовірностями цих подій, отримаємо комплексний показник надійності – ймовірності безвідмовної роботи цілого вузла системи:

$$F_b = P_a + P_b + P_c - (P_a \cdot P_b + P_a \cdot P_c + P_b \cdot P_c) + P_a \cdot P_b \cdot P_c \quad (1.22)$$

Використовуючи заперечення, можна отримати більш наглядний та практичний показник, оскільки описаний підхід важко застосувати для більш, ніж трьох паралельно з'єднаних елементів. В результаті, отримаємо показник сумарної ймовірності безвідмовної роботи n паралельно з'єднаних елементів:

$$P_{\Sigma}(t) = 1 - Q_{\Sigma}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)] \quad (1.23)$$

Аналогічний розрахунок можна провести і для послідовної компоновки елементів в підструктуру всієї системи згідно з правилом: система працездатна, якщо працездатними є $A \wedge B \wedge C$, що може бути подано як наступна логічна функція:

$$F_d = a \wedge b \wedge c \quad (1.24)$$

Провівши мінімізацію виразу за правилами булевої алгебри, та підставивши в результуючий вираз ймовірнісні характеристики, отримаємо, що сумарна ймовірність безвідмовної роботи n послідовно з'єднаних елементів буде рівною:

$$P_{\Sigma}(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (1.25)$$

З наведеного вище аналізу розрахунку надійності автоматизованих систем управління, можемо зробити висновок про те, що наступним кроком в рамках даного дисертаційного дослідження слід проаналізувати типи, структуру та функції систем оперативного управління гнучких виробничих систем з метою побудови карти надійності СОУ ГВС. Даний крок дозволить вивести кінцеву формулу розрахунку інтегральних показників надійності всієї системи.

1.3. Аналіз типів систем оперативного управління в ГВС

Система оперативного управління є невід'ємною частиною гнучкого автоматизованого виробництва. В структурі ГАВ СОУ міститься у якості підсистеми гнучкої виробничої системи (ГВС) як показано на узагальненій структурній схемі ГАВ на рис. 1.2.

СОУ є програмно-апаратним комплексом, котрий здійснює свої функції як в масштабах всього виробництва, так і в межах окремих виробничих підрозділів. Що покликаний вирішувати наступні задачі:

- комплектне і рівномірне виконання календарного плану випуску продукції з дотриманням строків відвантаження продукції споживачам;

- повне і раціональне використання засобів виробництва та трудових ресурсів;
- ефективне застосування оборотних засобів виробництва;
- розвиток передових форм організації виробництва;
- підтримка гнучкості у виробничій діяльності до коливань зовнішнього середовища;
- забезпечення стабільного рівня матеріально-технічних запасів, об'єму виробництва і зайнятості у відповідності до об'єму продажів.

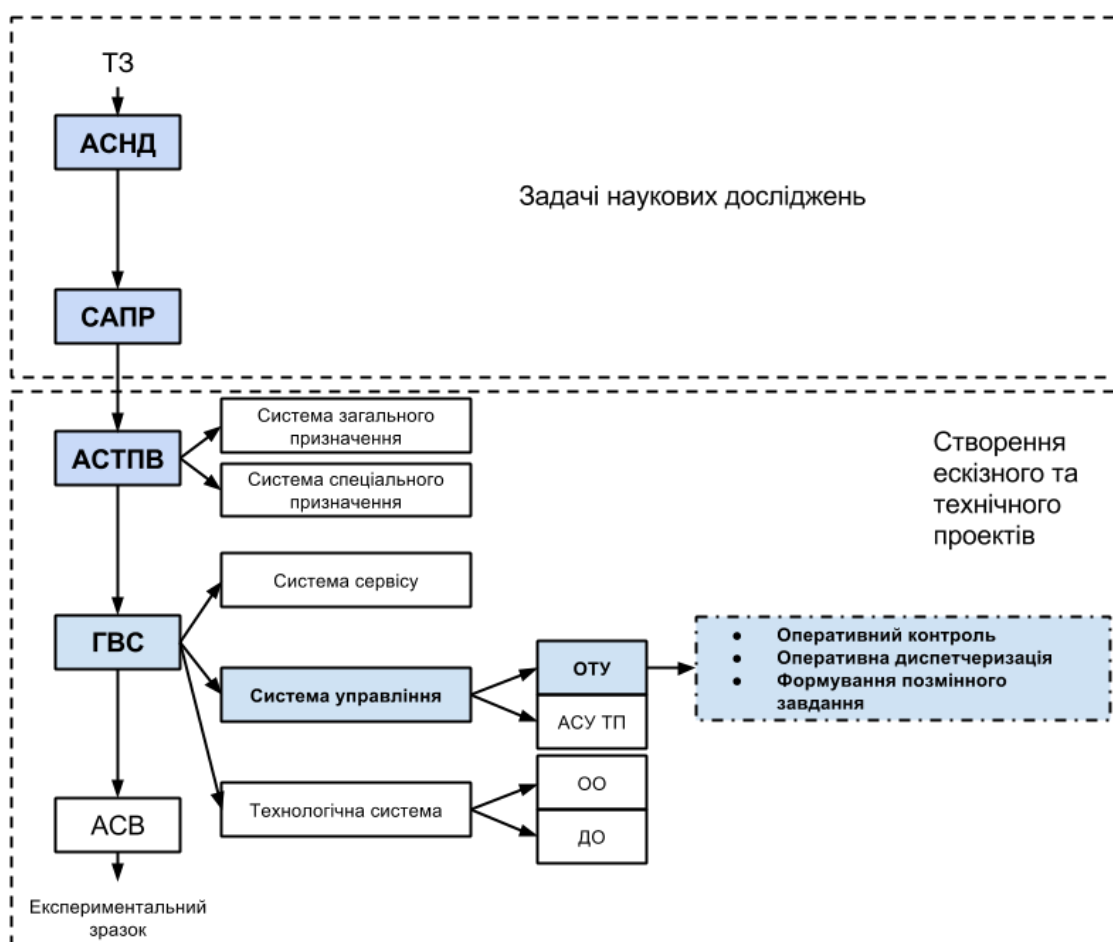


Рис. 1.8. Місце СОУ в узагальненій структурі ГАВ.

АСНД – автоматизована система наукових досліджень; **САПР** – система автоматизованого проектування; **АСПВ** – автоматизована система технологічної підготовки виробництва; **ГВС** – гнучка виробнича система; **ОТУ** – організаційно-технологічне управління; **АСУ ТП** – автоматизована система управління технологічними процесами; **ОО** – основне обладнання; **ДО** – допоміжне обладнання.

Будь-який цілеспрямований процес, що протікає у ІВС, представляє собою сукупність операцій, що, в залежності від виду виконуваних функцій, умовно можна розбити на дві групи: виробничі операції та операції управління [90, 66].

Виробничі операції реалізують виробничу функцію ІВС, яка полягає у виконанні технологічною підсистемою в автоматизованому чи автоматичному режимі технологічного процесу по випуску визначеної продукції.

Під *технологічним процесом* розуміється виконувана сукупність дій, що забезпечує спрямоване рішення визначених задач, орієнтованих на перетворення за допомогою елементів технологічної підсистеми (засобів виробництва) матеріальних потоків, що протікають (предметів і продуктів виробництва). Для досягнення мети технологічного процесу виробничі операції повинні організовуватися і направлятися діями іншого роду – операціями управління.

Операції управління реалізують інформаційну функцію ІВС, яка полягає в реалізації в автоматизованому чи автоматичному режимі збору, обробки і видачі інформації для виконання управління технологічним процесом [90].

Управління – це процес, що розвивається в реальному часі і забезпечує нормальний хід виконання технологічного процесу. Тому система управління (СУ), в рамках якої функціонує процес управління, складає спеціальний підклас динамічних систем. У результаті такого поділу функцій система управління інтегрованим виробництвом може бути представлена класичною схемою організації управління за подійним принципом, що застосовується в динамічних системах зі зворотним зв'язком по стану (рис. 1.9).

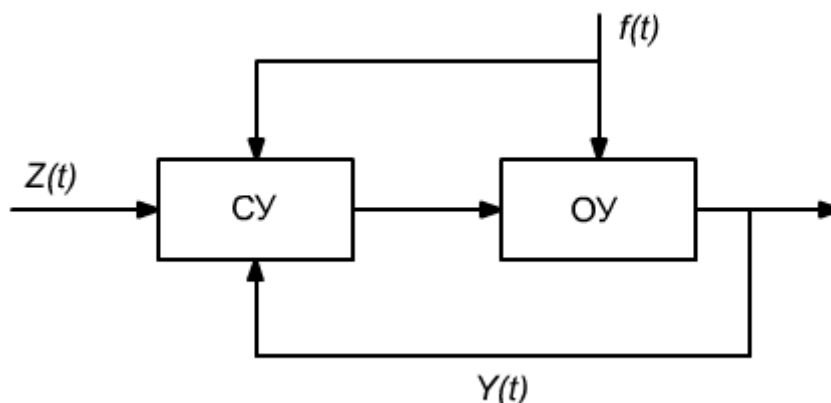


Рис. 1.9. Загальна схема системи управління в інтегрованій виробничій системі.

Процес управління в системах зі зворотним зв'язком організовується відповідно до програми управління, яка задана для всіх моментів часу або відома тільки для поточних моментів часу. Цей процес полягає у визначенні відхилень оцінок поточного стану від стану, передбаченого на даний момент часу відповідно до програми формування закону управління в системі, з метою утримання її на заданій траєкторії руху за умови виконання обмежень на залучені ресурси та обов'язкового забезпечення прийнятних показників ефективності управління.

У інтегрованій виробничій системі поняття *об'єкта управління* (ОУ) використовується в широкому розумінні. У нього включаються як технологічні процеси виробництва, так і процеси, з якими зв'язане забезпечення обумовлених вимогами експлуатації нормальних режимів функціонування виробничого устаткування і руху матеріальних потоків. Як об'єкти управління розглядаються окремі верстати, агрегати, ділянки, цехи, економічні та конструкторські підрозділи. Взаємодія елементів СУ та ОУ визначається інформаційними зв'язками. Границя між СУ та ОУ проходить там, де інформаційні процеси перетворюються у зміни ходи матеріальних процесів [90].

Системи управління елементами інтегрованих виробничих систем дуже різноманітні, як і зв'язані з ними відповідні об'єкти управління. Тому розглянемо класифікацію ознак побудови застосовуваних систем управління. Виділяють наступні ознаки:

1. Ступінь автоматизації інформаційної функції.
2. Ступінь складності системи управління;
3. Ступінь визначеності системи управління;
4. Принцип управління;
5. Число рівнів управління.

Серед визначених ознак, найбільш важливими з точки зору практики дослідження систем управління на надійність є пункти 4 та 5.

За *принципом управління* структури систем поділяються на централізовані та децентралізовані. У централізованих системах усі процеси управління зосереджені в єдиному керуючому органі, який обробляє всю інформацію, що надходить від всіх елементів об'єкта управління. У децентралізованих системах для кожного елемента об'єкта управління створюється власний керуючий орган, що реалізує локальну мету функціонування елемента, а глобальна (єдина) мета системи забезпечується за рахунок обліку й узгодження інформації, що надходить від інших елементів об'єкта управління (рис. 1.10).

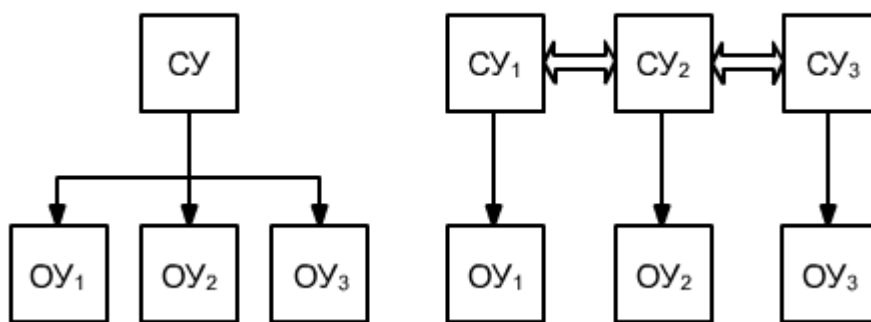


Рис. 1.10. Централізована та децентралізована системи управління.

За *кількістю рівнів підпорядкованості* розрізняють однорівневу та багаторівневу (ієрархічну) системи управління. В ієрархічних системах функції управління розподілені між декількома супідрядними органами з одночасним дотриманням принципу централізації. У таких системах керуюча інформація

надходить з верхніх рівнів на нижні, а інформація про стан – у зворотному напрямку (рис. 1.11).

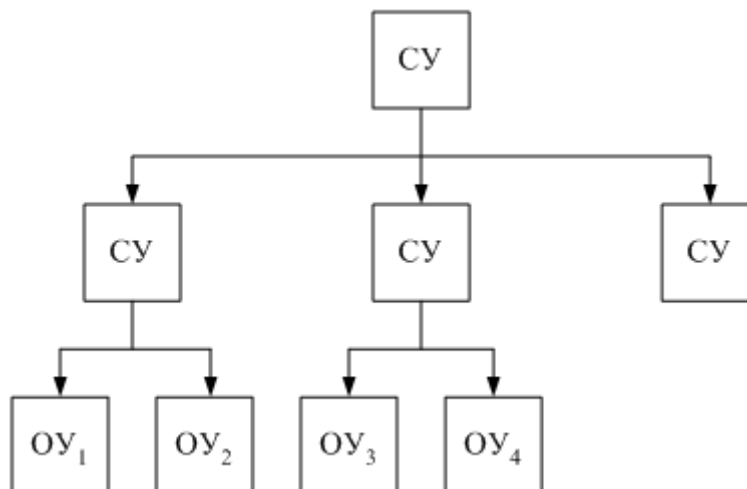


Рис. 1.11. Ієрархічна система управління.

Система оперативного управління використовується для здійснення оперативного контролю та регулювання виробничих процесів. Проте структурно та функціонально СОУ не є однаковими, діляться на види, а їхні функції прямо залежать від типу виробництва (рис. 1.12).

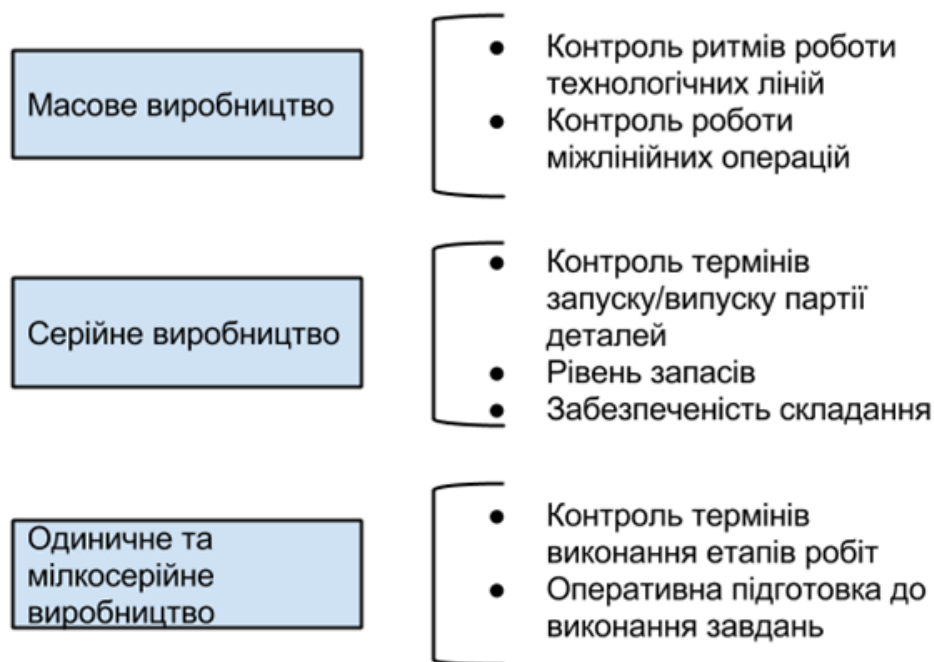


Рис. 1.12. Класифікація функцій СОУ за видом виробництва.

За способом управління СОУ ГВС діляться на дві великі категорії:

1. СОУ з синхронною моделлю.
2. СОУ, побудовану за стратегією транспортного обслуговування.

Як бачимо з описаного в даному підрозділі, системи оперативного управління виробничим процесом варіюються в залежності від принципу та способу управління, кількості рівнів підпорядкованості та виду виробництва. Розгляд абсолютно всіх типів СОУ вимагає проведення широкого комплексу досліджень, що виходить далеко за межі однієї дисертаційної роботи, тому в даній роботі вирішено накласти деякі обмеження на область досліджень, а саме:

- розглядатимуться СОУ з централізованим принципом управління як найбільш поширені і використовувані на сьогодні;*
- проведення досліджень вестиметься в рамках одиничного та дрібносерійного виробництва;*

*В зв'язку з вищеописаними обмеженнями, можна звузити клас СОУ, що розглядатимуться в даній роботі до **дворівневої СОУ, що за способом управління є СОУ з синхронною моделлю**. Саме такий тип СОУ вибраний, оскільки СОУ, що будується за стратегією транспортного обслуговування більш характерна для серійних чи крупносерійних виробництв, і є недоцільною та економічно необґрунтованою для дрібносерійних виробництв через складність та високу вартість створення та експлуатації.*

1.4. Аналіз структури СОУ ГВС з синхронною моделлю

Система оперативного контролю з синхронною моделлю застосовується зазвичай у випадках, коли відхилення від нормативного технологічного процесу заданого за результатами роботи АСТПВ у вигляді календарного плану графіку виробництва, є незначними. В іншому ж випадку – надають перевагу системам оперативного управління, що побудовані за стратегією транспортного обслуговування. Розглянемо структуру СОУ з синхронною моделлю подану на рис. 1.13.

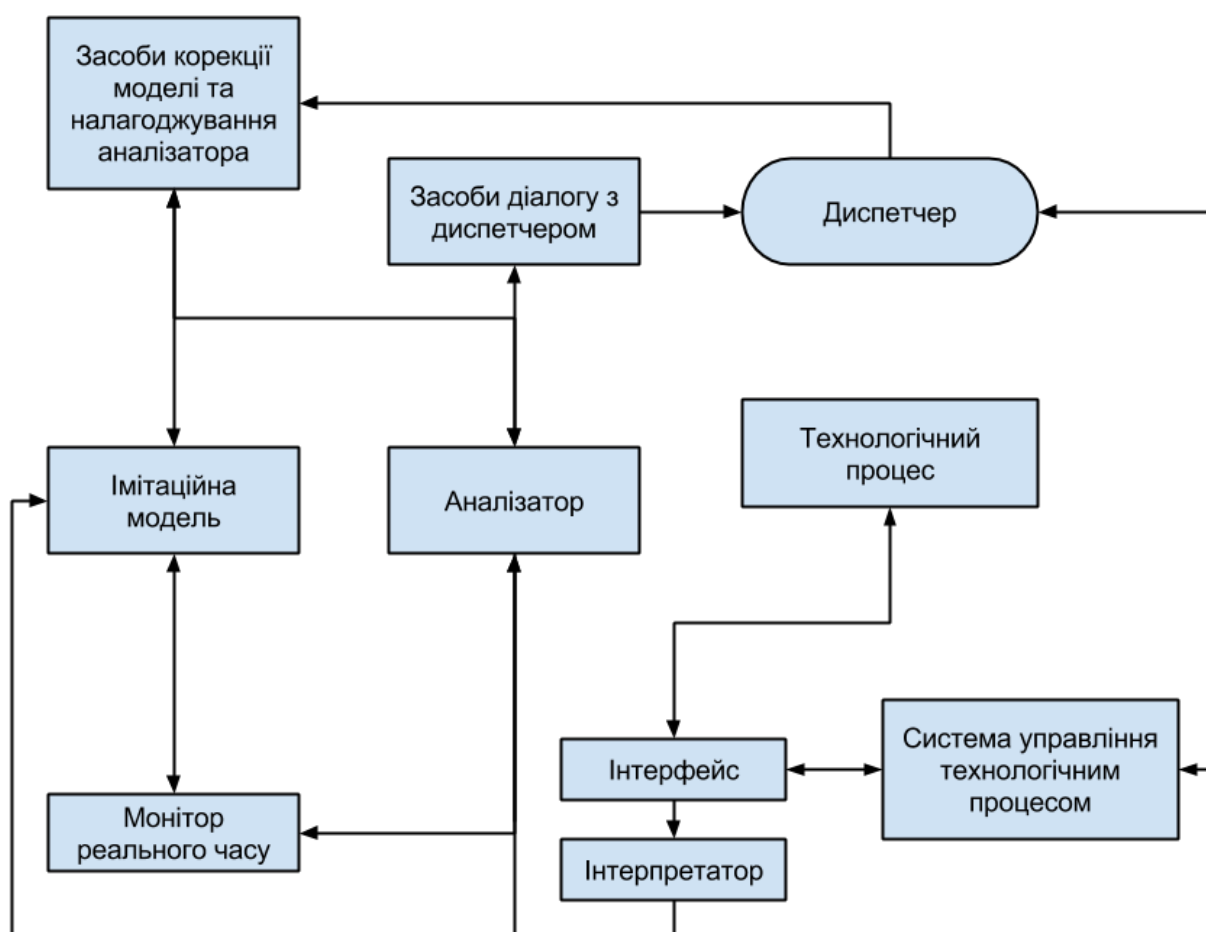


Рис. 1.13 Структура СОУ з синхронною моделлю.

Технологічний процес є об'єктом управління СОУ і представляє собою певний процес виробництва, що відбувається в гнучкій виробничій системі.

Система управління технологічним процесом являє собою програмно-апаратний комплекс, що здійснює безпосередні управляючі впливи на технологічне обладнання гнучкого виробництва шляхом числового програмного управління компонентами виробничої системи [108].

Інтерфейс є вхідним компонентом СОУ, через яку проходять дані з інформаційно – вимірювальної підсистеми ГВС до власне внутрішніх компонентів СОУ. Інтерфейс забезпечує стандартизований інформаційний потік, що проходить від обладнання безпосереднього збору і первинної обробки інформації про стан ГВС (датчиків та промислових контролерів), до інтерпретатора.

Інтерпретатор є унікальним для кожної конкретної СОУ та забезпечує перетворення вхідної інформації до внутрішнього формату СОУ, що базується на виді імітаційної моделі як складової СОУ. Наприклад, якщо модель СОУ представлена у вигляді сітки Петрі, інтерпретатор відповідає за відповідну зміну стану маркерів сітки в залежності від отриманих даних ІВС СОУ.

Ще одним завданням інтерпретатора є подача інформації до *аналізатора*, що веде відповідний облік та аналіз подій, що відбуваються в виробничій системі.

Імітаційна модель_виробництва є центральним компонентом, що визначає спосіб формування оперативно-календарних та добових планів, а також змінно-добових завдань. Імітаційна модель виконує імітацію виробництва в реальному часу за допомогою певного математичного апарату чи машинної моделі. Імітаційна модель нерозривно пов'язана з *монітором реального часу*, що складається з системи апаратних, програмних, чи гібридних таймерів, завдання яких забезпечити синхронізацію імітації та реального виробництва.

Розглядаючи процес роботи СОУ ГВС з синхронною моделлю на базі проведеного в даному підрозділі аналізу її структури та функцій, а також, представивши дану систему як систему управління зі зворотнім зв'язком (рис. 1.3),

слід зазначити, що для подальшого дослідження процесу управління варто розглянути джерело та спосіб отримання вхідних даних, що використовуються для управління системою.

Як уже було зазначено, дані до СОУ ГВС з синхронною моделлю надходять на аналізатор системи з інформаційно-вимірювальної підсистеми СОУ ГВС. Оскільки, кількість, характер, та вчасність отримання інформації про події, що відбуваються в ході виробничого процесу, є ключовими для виконання функцій оперативного управління, слід проаналізувати структуру та функціонування ІВС СОУ ГВС.

Працездатність імітаційної моделі напряму залежить від ІВС ГВС, оскільки за своєю природою, імітаційна модель виробничого процесу не може працювати без усієї повноти закладеної інформації, навіть якщо ця інформація представляє технологічні процеси ГВС на певному рівні абстракції. Наприклад, якщо говорити про засоби СМО, розглядаються потоки заявок та обладнання для управління чергами та конфліктами заявок і обладнання, що виникають в процесі виробництва.

Інформаційно-вимірювальна система ГВС є апаратною-програмною базою для формування даних при побудові і функціонуванні імітаційної моделі СОУ ГВС з синхронною моделлю. Дана підсистема входить в СОУ як інформаційно управляючу підсистему (рис 1.14) [7]

Технологічно ІВС – це сукупність функціонально поєднаних мір, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів, електронно-обчислювальних машин та інших технічних засобів, що розосереджені по різних точках виробництва, які є безпосередніми учасниками технологічного процесу ГВС, ціллю яких є вимірювання однієї чи декількох фізичних величин, що властиві об'єкту управління, а також створення специфічних вимірювальних сигналів.

За призначенням ІВС можна класифікувати як:

- для наукових досліджень

- для контролю та експериментів над складним обладнанням
- для управління технологічними процесами

За способом комплектування ІВС діляться на:

- агреговані, що складаються зі стандартизованих компонентів
- неагреговані, що складаються зі спеціалізованих компонентів.

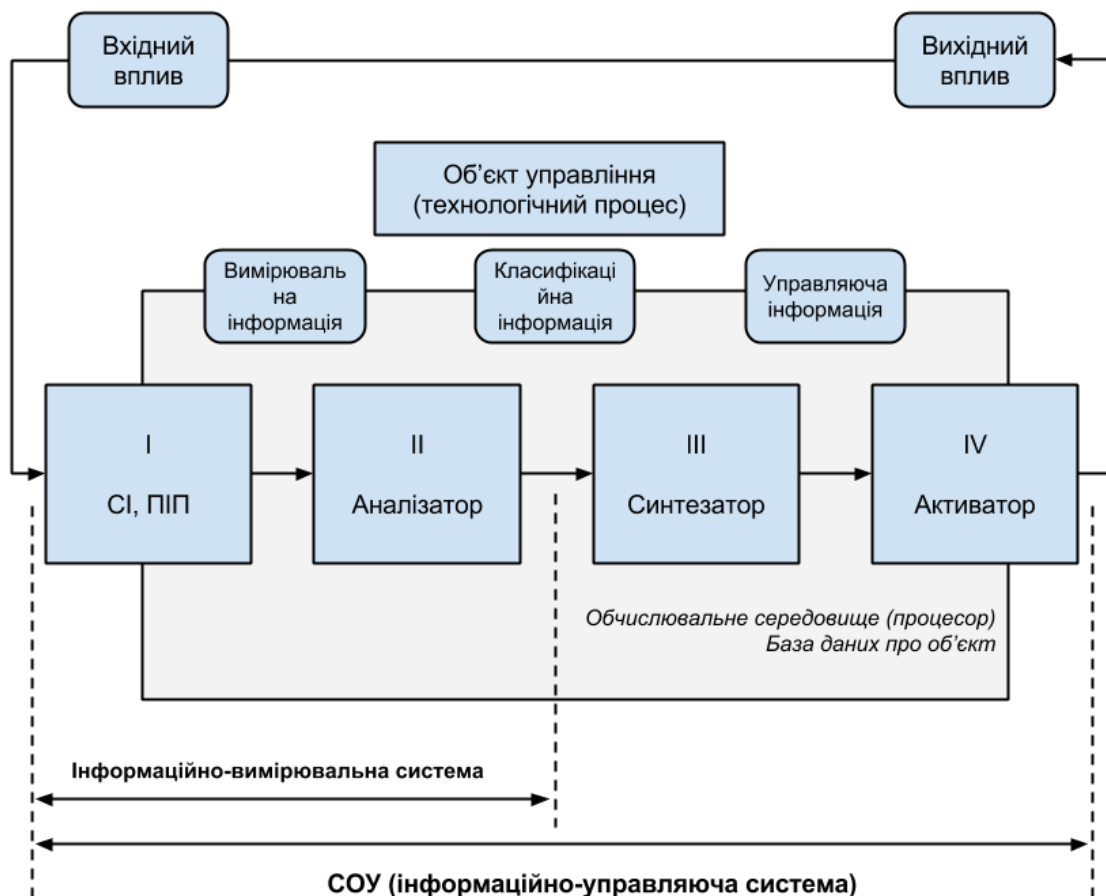


Рис. 1.14. Структура інформаційно-вимірювальної системи СОУ ГВС.

За структурними ознаками, ІВС можна розділити на:

- системи паралельно-послідовної структури
- системи паралельної структури.

Виходячи з даної класифікації, а також структурних особливостей СОУ ГВС з синхронною моделлю можна визначити ІВС СОУ ГВС як агреговану чи неагреговану інформаційно-вимірювальну систему паралельної структури для управління технологічними процесами. Властивість агрегованості залежить від

характеру виробничої системи, тому віднести ІВС СОУ до певної групи однозначно не можна, а от за структурними ознаками СОУ має виразно паралельний характер технологічних процесів з єдиною точкою прийому даних у вигляді стандартизованого інтерфейсу як одного з компонентів СОУ.

В даному підрозділі були розглянуті структурні особливості СОУ ГВС з синхронною моделлю, а також ІВС СОУ ГВС як джерело вхідних даних, на базі яких приймаються рішення з оперативного управління виробничим процесом.

Структурні особливості об'єкта досліджень напряму впливають на предмет досліджень даної дисертаційної роботи, а саме – підвищення надійності оперативного управління в виробничих системах. Іншим не менш важливим аспектом, що визначає особливості ведення досліджень на надійність є функції, що здійснює СОУ ГВС в процесі своєї роботи. Саме тому, після розгляду структури системи управління, слід проаналізувати функції, що нею виконуються, а також задачі, що перед нею ставляться.

1.5. Аналіз функцій та задач СОУ ГВС

Функції та задачі СОУ ГВС різняться в залежності від рівня управління. За *ієрархічним* принципом виділяють наступні рівні та підсистеми в ГВС (рис. 1.10).

Виконавчий (перший) рівень складається із множини систем управління окремими виробничими ланками (агрегатами, верстатами, устаткуванням). Метою управління на цьому рівні зазвичай є вибір і підтримка заданих технологічних режимів виконання технологічних операцій. Управління зводиться в основному до контролю параметрів виконання технологічної операції і до впливу безпосередньо на виконавчі механізми ланок.

Тактичний (другий) рівень ієрархії утворюють системи диспетчерського управління виробничими дільницями і лініями. Основною метою управління цього рівня є оперативна диспетчеризація руху матеріальних потоків через вибір і підтримку режиму спільного функціонування виробничих ланок, на яких виконуються взаємозалежні технологічні операції, що складають технологічний процес. На цьому рівні виробляється адаптація календарного плану виконання технологічних операцій до зміни виробничої ситуації.

Стратегічний (третій) рівень ієрархії утворюють системи організаційного управління виробничими підрозділами. Основною метою рівня є вироблення погодженого плану функціонування структурних підрозділів на оперативний плановий період. На цьому рівні виробляється деталізація виробничих завдань по випуску продукції виробничими цехами. Сукупність систем управління другого і третього рівнів складають ОТАСУ виробничими підрозділами.

Адміністративний (четвертий) рівень ієрархії утворюють системи, що забезпечують управління підприємством у цілому. Ціль управління полягає в підготовці й організації спільного функціонування виробничих та інших підрозділів підприємства по випуску готової продукції у визначеній кількості при встановлених

техніко-економічних показниках. Для реалізації поставленої мети в процесі управління необхідно реалізувати функції економічного характеру.

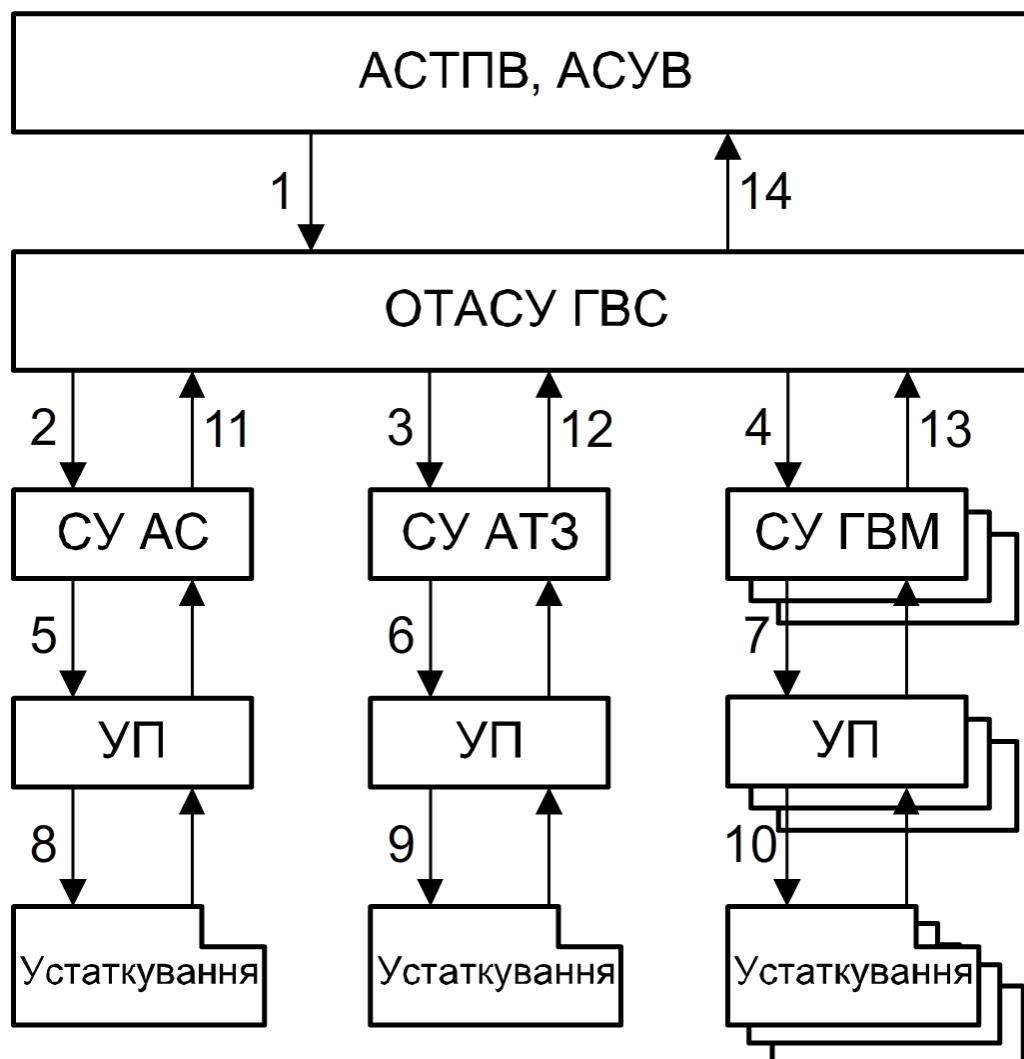


Рис. 1.16. Схема багаторівневої системи управління ГВС.

Специфіка організаційно-економічних і організаційно-технічних систем відбивається в змісті основних задач управління, що забезпечують реалізацію глобальної мети підприємства. Глобальною метою є виконання планового завдання, що регламентує обсяг, номенклатуру, терміни та умови використання виробничих ресурсів. У процесі планування на основі планового завдання визначаються техніко-економічні показники підприємства в цілому і виробляється їх деталізація по всіх підрозділах, цехах, дільницях, лініях.

Таблиця 1.1

Ієрархія рівнів управління в ГВС та їх задачі

Рівень	Тип системи управління	Мета і виконувана функція	Задачі на підприємстві
Адміністративний	Система організаційно-виробничого планування	Техніко-економічне планування; організаційно-економічне управління	1. Формування виробничої програми. 2. Статистичний облік показників роботи. 3. Управління збутом. 4. Контроль якості. 5. Управління матеріально-технічним постачанням.
Стратегічний	Система оперативного планування	Оперативне планування; організаційно-технічне управління	1. Формування календарних планів. 2. Оперативний облік. 3. Корегування календарних планів і завдань. 4. Ведення оперативних баз даних.
Тактичний	СОУ	Оперативна диспетчеризація; технологічне управління	1. Диспетчеризація матеріальних потоків. 2. Аналіз та оперативний контроль. 3. Облік первинної інформації про стан устаткування. 4. Диспетчеризація інформаційних потоків. 5. Оперативне регулювання.
Виконавчий	АСУТП СУ ГВМ СУ АТЗ СУ АНС	Логіко-програмне управління устаткуванням; локальне управління.	1. Управління технологічними операціями. 2. Управління транспортними операціями. 3. Управління допоміжними операціями. 4. Управління промисловими роботами.

Розглянемо функціональну структуру і принципи роботи СОУ МП в ГВС (рис. 1.11). СОУ реалізує принцип управління із зворотним зв'язком і складається з наступних основних блоків-модулів:

- оперативно-календарного планування (P1);
- оперативного обліку (P2);
- оперативного контролю (P3);
- оперативної диспетчеризації (P4);
- локального управління устаткуванням (P5);
- оперативного корегування (P6);
- статистичного обліку (P7).

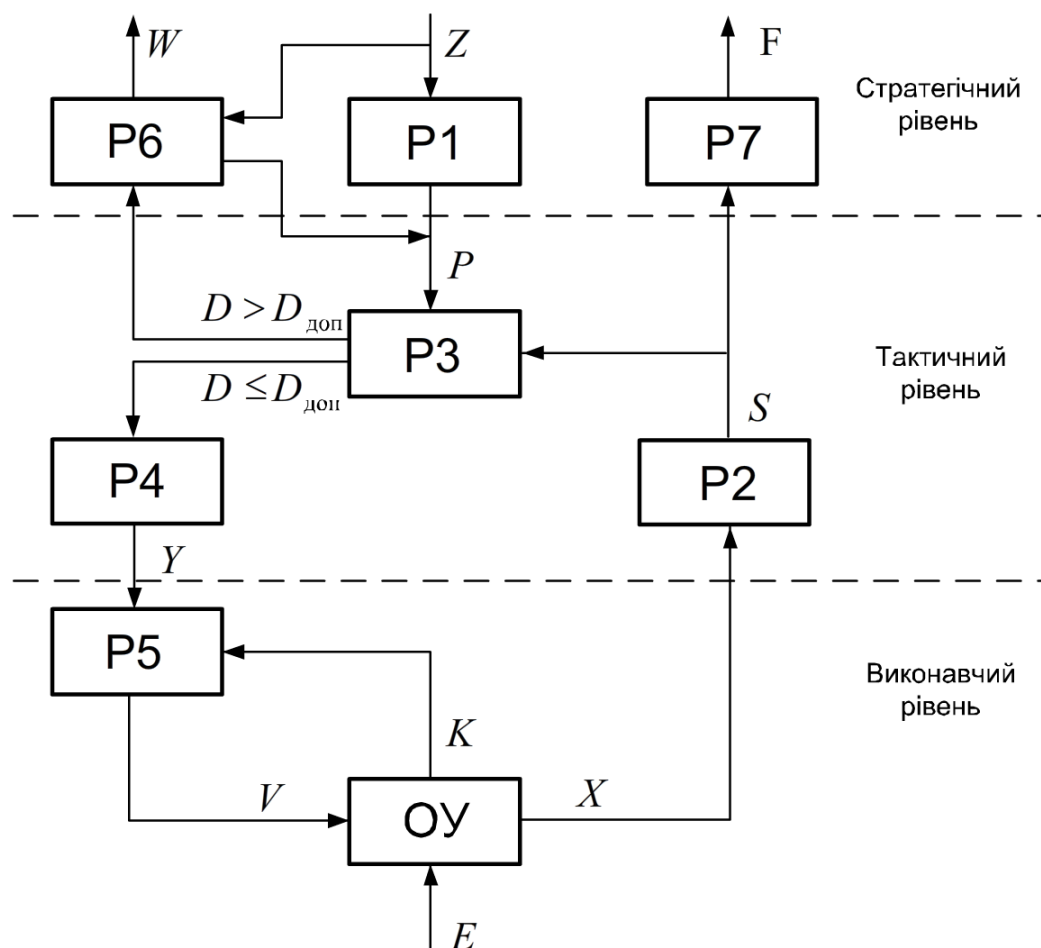


Рис. 1.17. Функціональна структура системи оперативного управління в ГВС.

На вхід СОУ надходить цільова вказівка Z , що включає планове завдання у вигляді виробничої програми, технологію обробки, фонди матеріальних ресурсів,

що використовуються, і техніко-економічні показники для оцінки ефективності роботи ГВС. Блок **P1** на підставі мети **Z** складає поопераційні календарні плани і формує змінно-добове завдання **P** (календарний план) завантаження устаткування.

Блок **P2** здійснює обробку та облік первинної інформації про стан об'єкта управління ОУ (устаткування і матеріальних потоків), що надходить на вхід блока у вигляді сигналів **X** про зміну стану компонентів ОУ (наприклад, у вигляді сигналів про завершення виконання керуючого завдання **Y**, передбачених планом **P**). При цьому блок **P2** робить розпізнавання поточного стану компоненти і формує вектор поточного стану **S** усього комплексу компонентів (устаткування) ОУ.

Далі в блоці **P3** проводиться аналіз подій, що відбулися в ОУ, і оцінюється рівень відповідності дійсного ходу виробництва запланованому. Для цього визначається ступінь неузгодженості $D = S - P$ (відхилення по часу від планових термінів завершення технологічних операцій). Якщо величина неузгодженості не перевищує допустимої величини $D_{\text{доп}}$ (локальні резерви часу виконання технологічних операцій), то інформація про поточний стан ОУ передається блоку **P4** для вироблення керуючого завдання **Y**, спрямованої на усунення неузгодженості та виконання чергового завдання з плану **P**. З цією метою на етапі планування, виходячи з прийнятої стратегії оперативного регулювання, у змінно-добове завдання вноситься оперативна надлишковість по використовуваному устаткуванню і виконуваних технологічних операціях. Відпрацюванням керуючого завдання **Y** займається блок **P5**, який для цього використовує власні набори сигналів **K** про стан виконання завдання і керуючі команди **V** (мікрокоманди на виконання елементарних операцій).

Якщо величина неузгодженості перевищує допустиму величину, то управління ГВС передається блоку **P6**, який робить перерахунок календарного плану на частину планового періоду, що залишилася, із врахуванням виробничих резервів наданих ресурсів (устаткування, технологічних маршрутів і процесів). За

результатами перерахунку приймається рішення про подальший варіант функціонування ГВС:

1. здійснювати роботу ГВС виходячи з повторно розрахованого плану у випадку дотримання директивних термінів виконання виробничої програми;
2. інформувати підсистему управління верхнього рівня про неможливість виконання виробничої програми в потрібні терміни без зміни планового завдання і виробничих ресурсів (системні повідомлення *W*).

Облік і статистична обробка стану *S* в ОУ для використання на верхньому рівні управління виробляється у блоці *P7*, що переробляє облікові дані про ОУ за зміну і формує узагальнену інформацію *F* у вигляді даних про число виготовлених деталей, обсяг незавершеного виробництва, завантаження та простої устаткування тощо.

Система оперативного управління виробничим процесом є невід'ємним компонентом гнучкої виробничої системи, що служить для впровадження календарних планів-графіків і виробничих програм. Введення такої компоненти зумовлено тим, що під час процесу виробництва на нього впливають ряд випадкових впливів, які неможливо повністю виключити з виробничого процесу. До таких впливів (факторів) відносяться наступні: [108]

- пошкодження устаткування
- перебої постачання деталей для виробництва
- поява браку
- зміна ступеня забезпеченості людськими ресурсами
- випуск позапланової продукції
- поломки та збої в роботі компонентів самої СОУ
- ...

Уміння справлятися з поданими вище факторами за якомога короткий час і визначає ефективність роботи СОУ. Однією з важливих властивостей є здатність СОУ як і будь-якої технічної системи функціонувати в умовах поломок та збоїв в роботі її в загальному, а також її компонентів в особливості. Ця властивість визначає

ступінь надійності роботи СОУ ГВС, що також прямо впливає на показники ефективності роботи.

Оперативне регулювання (диспетчеризація) та контроль виробництва виконується одночасно як в загальному масштабі виробництва, так і в масштабі окремих його підрозділів. Окрім функції усунення відхилень від календарного плану виробництва, тобто нормального ходу процесу виробництва, функція диспетчеризації повинна мати попереджувальний характер, тобто під час диспетчеризації необхідно завчасно виявляти та усувати виявлені відхилення від підготовлених календарних планів-графіків, тобто виконувати уточнення та коригування оперативних планів.

Функціонування СОУ забезпечується апаратно-програмним забезпеченням, що оперує інформаційними потоками, та складається з наступних етапів:

- планування;
- диспетчеризації;
- вимірювання та обліку;
- контролю та аналізу;
- регулювання ходу технологічного процесу. [90]

Фаза планування включає в себе розрахунок та прогнозування оптимальних графіків виробничих показників на встановлений період для певного організаційно-технічного рівня ГВС, для якого виконується планування. Завдання планування включає в себе формування мережевих планів на певний оперативний період виробництва (наприклад, добовий, змінний, чи ін..), тобто виконується розподіл довгострокового календарного плану виробництва (наприклад, номенклатурного плану на місяць, рік, і т.д..) на коротші періоди, чи змінно-добові завдання (ЗДЗ) для кожного ГВМ, ділянки чи лінії (ГАД, ГАЛ, ...).

Фаза диспетчеризації забезпечує функціонування обладнання у відповідності з оперативним планом виробництва. Оперативне управління (диспетчеризація)

здійснюється шляхом подачі синхронізованих сигналів-завдань та пересилання відповідних програм на локальні системи управління технологічним обладнанням.

Фаза вимірювання та обліку пов'язана зі збором інформації про стан системи, якою управляє СОУ. Для СОУ з синхронною моделлю дана фаза є визначальною, оскільки синхронна модель виконує імітацію виробництва, на базі якої виконуються всі інші фази роботи СОУ.

Фаза контролю та аналізу полягає в виконанні порівняння показників роботи ГВС зі встановленими нормативами, щоб виявити факти та причини відхилень виробничих показників, а також визначити амплітуди таких відхилень. На базі цієї діагностичної інформації приймається рішення про можливість чи неможливість усунення наслідків збоїв та пошкоджень в ході диспетчеризації шляхом корекції оперативних планів (без перерахунку ЗДЗ), регулювання ЗДЗ та перерахунку ДП.

Фаза регулювання ходу технологічного процесу (корекції планів) призначена для усунення відхилень виробництва від нормативного графіку. Ця фаза необхідна, коли певне збурення не вдається компенсувати в процесі оперативного управління.

Узагальнений алгоритм роботи СОУ поданий на рис. 1.18 у вигляді блок-схеми. Поданий алгоритм показує проходження всіх фаз роботи СОУ, де на вході подаються дані з АСТПВ.

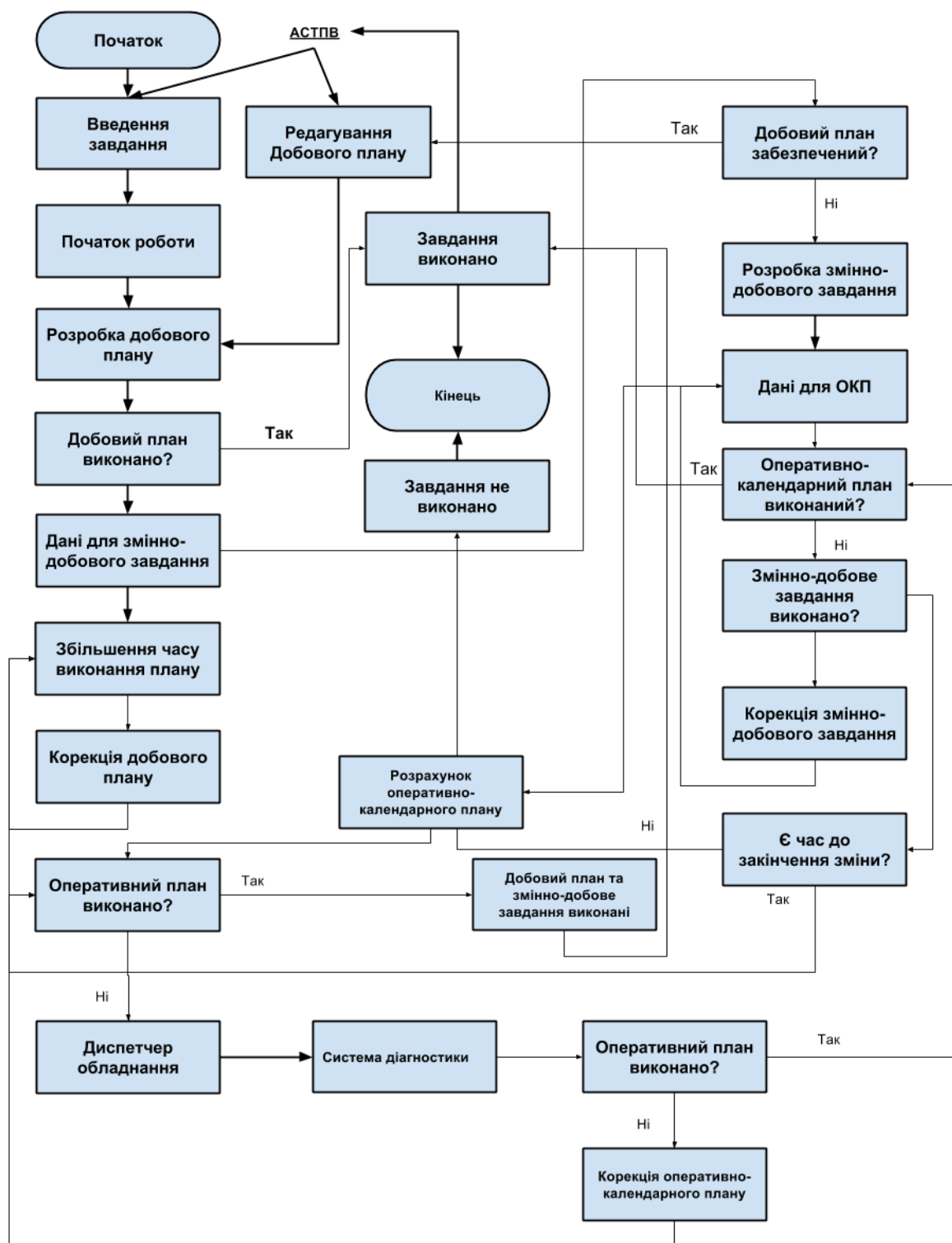


Рис. 1.18. Узагальнений алгоритм роботи СОУ.

Проаналізувавши функції та задачі СОУ ГВС, можна виділити наступні особливості функціонування даної системи з точки зору предмету досліджень:

1. необхідність перерахування оперативного плану у випадку виникнення неузгодженості ходу виробничого процесу з оперативним планом в процесі неперервного аналізу подій, що відбуваються в ГВС.

2. наявність фази вимірювань, на якій здійснює власне забір та первинний аналіз результатів вимірювань з датчиків, що є структурними компонентами ІВС СОУ ГВС. Результат роботи даної фази виконує безпосередній вплив на проходження наступних фаз оперативного управління.

3. Наявність випадкових впливів на процес виробництва, якими неможливо нехтувати в процесі управління:

- *пошкодження устаткування*
- перебої постачання деталей для виробництва
- поява браку
- зміна ступеня забезпеченості людськими ресурсами
- випуск позапланової продукції
- *поломки та збої в роботі компонентів самої СОУ.*

Особливу увагу з точки зору предмету досліджень привертають перший та останній типи випадкових впливів, які безпосередньо впливають на надійність роботи оперативного управління в ГВС та призводять до зниження ефективності управління виробництвом аж до повної зупинки виробництва. Інші ж пункти відносяться до зони відповідальності інших ієрархічних рівнів управління: адміністративного, стратегічного, та виконавчого.

Розглянуті вище випадкові впливи створюють проблеми в роботі СОУ ГВС, та в загальному можуть бути визначені як *нештатні ситуації*. Для того, щоб предметно розглянути і дослідити способи підвищення надійності роботи СОУ ГВС слід провести поглиблений аналіз роботи СОУ ГВС при нештатних ситуаціях.

1.6. Аналіз роботи СОУ ГВС при нештатних ситуаціях

В процесі роботи технічних систем неодмінно настають моменти, коли вони працюють в нештатному режимі. Що стосується систем управління, нештатні ситуації можуть бути зумовлені одним з двох класів проблем:

1. Апаратними проблемами.
2. Програмними проблемами.

Досвід показує, що в процесі налагодження алгоритмів і програм виявляється значне число помилок (приблизно 5 % від загального числа команд у програмі), а витрати на їх виявлення і виправлення порівняні з витратами на проектування програмного забезпечення. Помилки класифікують наступним чином:

1. *системні* – обумовлені неправильним розумінням вимог задачі та умов її реалізації;
2. *алгоритмічні* – зв'язані з некоректним формулюванням і реалізацією алгоритмів;
3. *програмні помилки кодування алгоритмів*;
4. *технологічні* – ті, що виникають в процесах підготовки документації на програму.

Процес налагодження та впровадження програм поділяється на наступні основні етапи:

1. програмне налагодження;
2. системне налагодження;
3. дослідна експлуатація.

Програмне налагодження призначене для індивідуальної перевірки окремих програм на тестових модельних даних, у процесі якої виявляються та усуваються в основному різні алгоритмічні, програмні та технологічні помилки. Основними функціями програмного налагодження є:

- перевірка відповідності одержуваних результатів програмним специфікаціям;

- перевірка правильності виконання операцій;
- перевірка логіки програми;
- перевірка правильності кодування.

Системне налагодження призначене для перевірки правильності роботи комплексу програм з використанням реальних інформаційних масивів неповного обсягу. У процесі системного налагодження перевіряється еквівалентність логічної схеми комплексу програм її функціональному призначенню. При цьому усувається більшість складних алгоритмічних і системних помилок.

Дослідна експлуатація призначена для перевірки функціонування системи з використанням реальних повнорозмірних масивів даних і в реальному масштабі часу. Передбачається, що на цьому етапі комплекс програм не містить великих системних помилок, а випадки неправильного функціонування виникають через неправильну обробку непередбачених раніше комбінацій вихідних даних.

Водночас більш проблемними є ситуації, коли з ладу виходить апаратна частина СОУ ГВС, основу якого складають програмно апаратні комплекси ІВС СОУ ГВС. Такі проблеми можна класифікувати наступним чином:

- вихід з ладу обладнання, пов'язаний з закінченням ресурсу обладнання;
- апаратні збої, зумовлені дефектом виконання обладнання;
- апаратні збої, зумовлені зміною умов експлуатації;
- пошкодження, зумовлені дією зовнішніх чинників;
- апаратні збої чи пошкодження зумовлені порушенням порядку виконання регламентних робіт.

Всі ці ситуації вимагають негайного втручання обслуговуючого персоналу на предмет виконання діагностики та усунення проблем в роботі СОУ ГВС з ціллю виведення системи в штатний режим роботи, що може включати наступні дії:

- виконання оперативного ремонту обладнання;
- виконання заміни певного компонента чи блоку компонентів СОУ ГВС;
- активація одного з доступних механізмів резервування (якщо є).

Позаяк, у випадку відсутності механізмів резервування, в більшості випадків такі дії вимагають або повної зупинки виробництва (на малосерійному чи одиничному виробництві), або виводу з виробництва компонента ГВС (гнучкого виробничого модуля, автоматизованого транспортного модуля, та ін.), це може призводити до порушення оперативного та календарного планів виробництва, що веде до зниження ефективності всієї ГВС.

При цьому система чи її елементи переходять між станами в результаті подій, що називають *відмовою* та *пошкодженням*, класифікація яких наведена на рис. 1.19:

– **Відмова** – це подія, суть якої полягає в порушенні працездатного стану системи;

– **Пошкодження** – це подія, суть якої полягає в порушенні справного стану об'єкта при збереженні його працездатного стану.

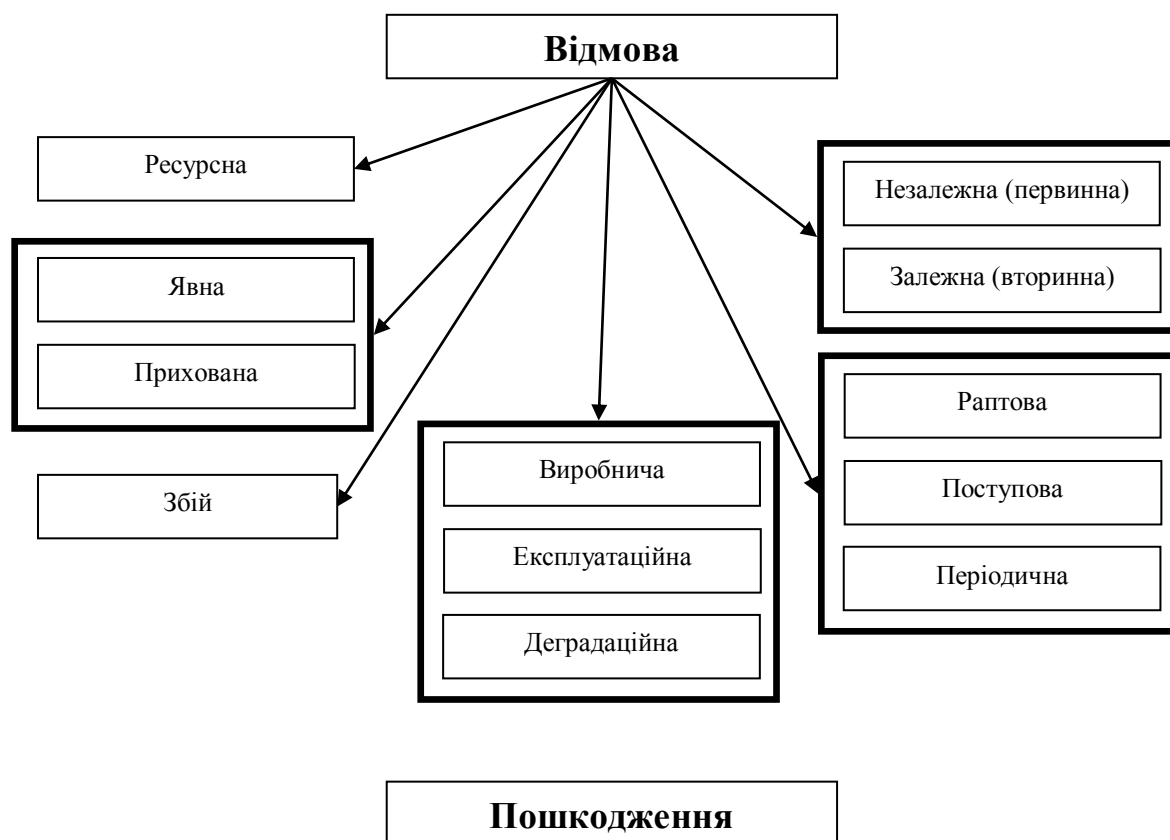


Рисунок 1.19. Типи подій, що відбуваються при переході між станами.

Визначення кількісних характеристик або показників надійності є необхідним для досягнення наступних цілей:

- врахування надійності елементів та пристроїв при їх застосуванні в технічних системах управління;
- формулювання вимог до надійності проєктованих пристроїв та систем;
- досягнення можливості порівняння різних варіантів побудови системи;
- розрахунку необхідного набору додаткових чи запасних частин та обладнання для відновлення роботи систем при виникненні позаштатних ситуацій.

Як бачимо, у випадку виникнення нештатних ситуацій, виробничий процес може бути або частково, або повністю зупинений на певний визначений, чи, в деяких випадках, невизначений період часу. Виходом з ситуації є виконання резервування, що зумовлює підтримку ходу виробничого процесу до переведу всієї ГВС в штатний стан.

Це призводить до іншого висновку, що підходи до підвищення надійності слід шукати в площині механізмів резервування, які становлять основу безперебійної роботи виробництва і слідуванню оперативним, а, як наслідок, і календарним планам виробництва.

Особливу увагу також слід звернути на надійність компонентів ІВС СОУ ГВС, які оперують інформаційними потоками ГВС, та дослідженню особливостей проблем надійності яких у порівнянні з дослідженням проблем надійності інших технічних систем, проводились в набагато меншій степені.

1.7. Мета та задачі досліджень.

Метою даної дисертаційної роботи є «збільшення тривалості безвідмовної роботи технологічних процесів за рахунок покращення показників надійності автоматизованої системи оперативного управління». Поставлена задача характеризується необхідністю визначення множини кількісних характеристики надійності, їх оцінки та вироблення механізмів та пропозицій для їх покращення. Самі показники надійності, очевидно, залежать від структури та функцій, що виконує СОУ ГВС, а також від вхідних даних, що забезпечують виконання цих функцій.

Наявність апаратної та постійно зростаючої питомої ваги інформаційної складової в структурі СОУ ГВС зумовлює необхідність в дослідженні як методів підвищення надійності технічних систем, так і підходи, що застосовуються в інформаційних системах.

Це посилює інтерес до ІВС СОУ ГВС як технічної системи, що оперує виключно інформаційними потоками, виконуючи їх збір, фільтрацію та первинний аналіз, в зв'язку з чим проблеми чи перебої в роботі ІВС призводять до виходу всієї виробничої системи зі штатного режиму роботи.

Результатом дослідження повинен стати набір комплексний рекомендацій щодо підвищення надійності роботи СОУ ГВС.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі досліджень:

1. Дослідження показників надійності автоматизованих систем оперативного управління гнучкими виробничими системами.
2. Дослідження структури, завдань та функцій існуючих СОУ ГВС.
3. Аналіз методів підвищення надійності роботи апаратної та інформаційної складових інформаційно-вимірювальної підсистеми СОУ ГВС.
4. Розробка карти надійності ІВС СОУ ГВС в загальному вигляді для розрахунку показників надійності, а також розробка рекомендацій щодо інтегрального розрахунку ймовірності безвідмовності роботи ІВС.

5. Розробка комплексного набору рекомендацій щодо застосування методів резервування надійності технічних систем до інформаційно-виміральної підсистеми СОУ ГВС.

6. Розробка інформаційного способу резервування шляхом створення імітаційної моделі виробництва на базі апарату прихованих марківських моделей з можливістю застосування в процесі виконання керування технологічними процесами.

7. Розробка імітаційної моделі гнучких виробничих систем для проведення експериментальних досліджень ефективності отриманих теоретичних результатів щодо підвищення ефективності роботи СОУ ГВС.

1.8. Висновки до першого розділу

1. Проведено аналіз типів СОУ ГВС, та звужено область подальших досліджень до СОУ ГВС з синхронною моделлю з більш глибоким фокусом на інформаційно-вимірну систему в складі СОУ ГВС.

2. Проведено аналіз функцій та задач СОУ ГВС, на базі якого визначено фактори, що впливають на надійність роботи даної системи, а також проведено класифікацію нештатних ситуацій, що виникають в процесі роботи СОУ ГВС, що дає підставу зробити висновок про необхідність розробки системи технічної діагностики несправностей.

3. Проведено аналіз показників надійності автоматизованих систем керування, та обрано в якості опорного для подальших оцінок ймовірність безвідмовної роботи СОУ ГВС, який надалі буде застосовуватись для оцінки ефективності застосування методів резервування, що використовуються з ціллю забезпечення надійності СОУ ГВС.

2. ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ТА ДІАГНОСТИКА ІВС СОУ ГВС

2.1. Структурна та функціональна декомпозиція ІВС СОУ ГВС для побудови карти надійності

В рамках роботи над даним підрозділом дисертаційної роботи були досліджені та визначені наступні характеристики надійності ІВС СОУ ГВС, що є запозиченими з класичної теорії надійності технічних систем і застосовними для досліджуваної системи в рамках роботи над предметом досліджень:

- ймовірність безвідмовної роботи;
- середнє напрацювання на відмову;
- інтенсивність відмов.

Ці кількісні характеристики можна розглядати як для окремих компонентів ІВС СОУ ГВС, так і для всієї системи в цілому. Проте, між ними є велика різниця, оскільки вся система є комплексною ієрархічною структурою, тому для всієї системи ці показники будуть розрахунковими, а не експериментальними, чи регламентними, що надаються виробником обладнання.

Виконання розрахунків можливе завдяки використанню відповідних методик на базі побудови моделі ІВС СОУ ГВС як карти надійності, що враховує як структурні особливості системи, так і функціональні. Тоді, маючи кількісні характеристики надійності ІВС СОУ ГВС, можна виконувати оцінку методів підвищення надійності, що буде виконана за рахунок порівняння показників вихідної системи до показників покращеної системи.

Саме тому першим завданням, яке необхідно виконати є структурна декомпозиція ІВС СОУ ГВС. Зазвичай наявність ІВС уже означає формування певного вимірювально-обчислювального комплексу (ВОК), структура якого зображена на рис 2.1.



Рис. 2.1. Технічне обладнання ВОК.

Як бачимо, все технічне обладнання, що входить до складу ВОК ділиться на основне та допоміжне, що забезпечує передачу даних від джерел даних (датчиків) до засобів обробки інформації (аналізатора через стандартизований інтерфейс). Проте з точки зору досліджень на предмет надійності, все обладнання є рівнозначним, а важливим є лише порядок його подальшого включення і взаємозалежність роботи один від одного.

Наведемо розширену інформації про типи обладнання, конкретні реалізації цього обладнання, а також джерела отримання інформації про його надійність для виконання подальших інтегральних розрахунків (таблиця 2.1.).

Таблиця 2.1.

Розширена інформація про обладнання ВОК

Тип обладнання	Конкретні моделі	Включений паралельно з	Включений послідовно з	Джерело показників надійності
Датчик	Siemens SIMATIC PXO  IFM Effector 	-	Перетворювач сигналу	Надається виробником
Перетворювач сигналу		-	Датчик Промисловий контроллер	Надається виробником
Промисловий контроллер	Siemens SIMATIC ET-200	-	Перетворювач сигналу Мережевий кабель	Надається виробником
Мережевий концентратор	Siemens SCALANCE X Moxa Rackmount Ethernet	Мережевий концентратор	Мережевий кабель	Надається виробником

Мережевий кабель	Procentric PROFINET Cable FC Siemens IE Connecting Cable series	Мережевий кабель	Мережевий концентратор Промисловий контроллер Сервер	Надається виробником
Сервер	Siemens SNMP OPC Server MOXA Industrial OPC Server	Сервер	Мережевий кабель	Надається виробником

В таблиці представлені типові компоненти вимірювально-обчислювального комплексу СОУ ГВС, які розглядаємо в даній роботі як компоненти найнижчого рівня з точки зору досліджень на надійність, які формують більш складні ієрархічні структури. Також в таблиці наведені способи включення даних компонентів з точки зору побудови карти надійності всієї системи.

Таким чином, наступним кроком, слід виконати побудову карти надійності СОУ ГВС в аспекті інформаційно-вимірювальної підсистеми.

2.2. Побудова моделі ІВС СОУ ГВС як карти надійності

Зазвичай технічні системи, а разом з тим СОУ ГВС містять більш складні структурні схеми надійності, побудова яких може бути досягнута шляхом компонування вже існуючих, які були представлені вище (рис. 2.1, табл. 2.1).

Основою апаратного забезпечення, що значно впливає на надійність СОУ ГВС є конфігурація ІВС СОУ ГВС.

Дана інформаційно-вимірювальна система СОУ ГВС зазвичай будується на паралельно-послідовних структурах, елементами яких є основне та допоміжне вимірювальне обладнання та обладнання, що реалізовує фізичне середовище передачі даних від сенсорів до серверів аналізатора для первинної обробки виміряної сирової інформації, що перетворюється в формат, сумісний з імітаційною моделлю виробництва, тобто такий, що адекватно відображає поняття станів та переходів між станами [100, 107, 90].

Самі центральні структурні компоненти СОУ ГВС з синхронною моделлю в своїй структурі надійності містять значний вплив програмно-математичного забезпечення, для яких є сталі способи діагностики та боротьби з нештатними ситуаціями.

Карту надійності СОУ ГВС можна розглядати як поєднання послідовно-паралельних структур, що зображені на рис. 2.2.

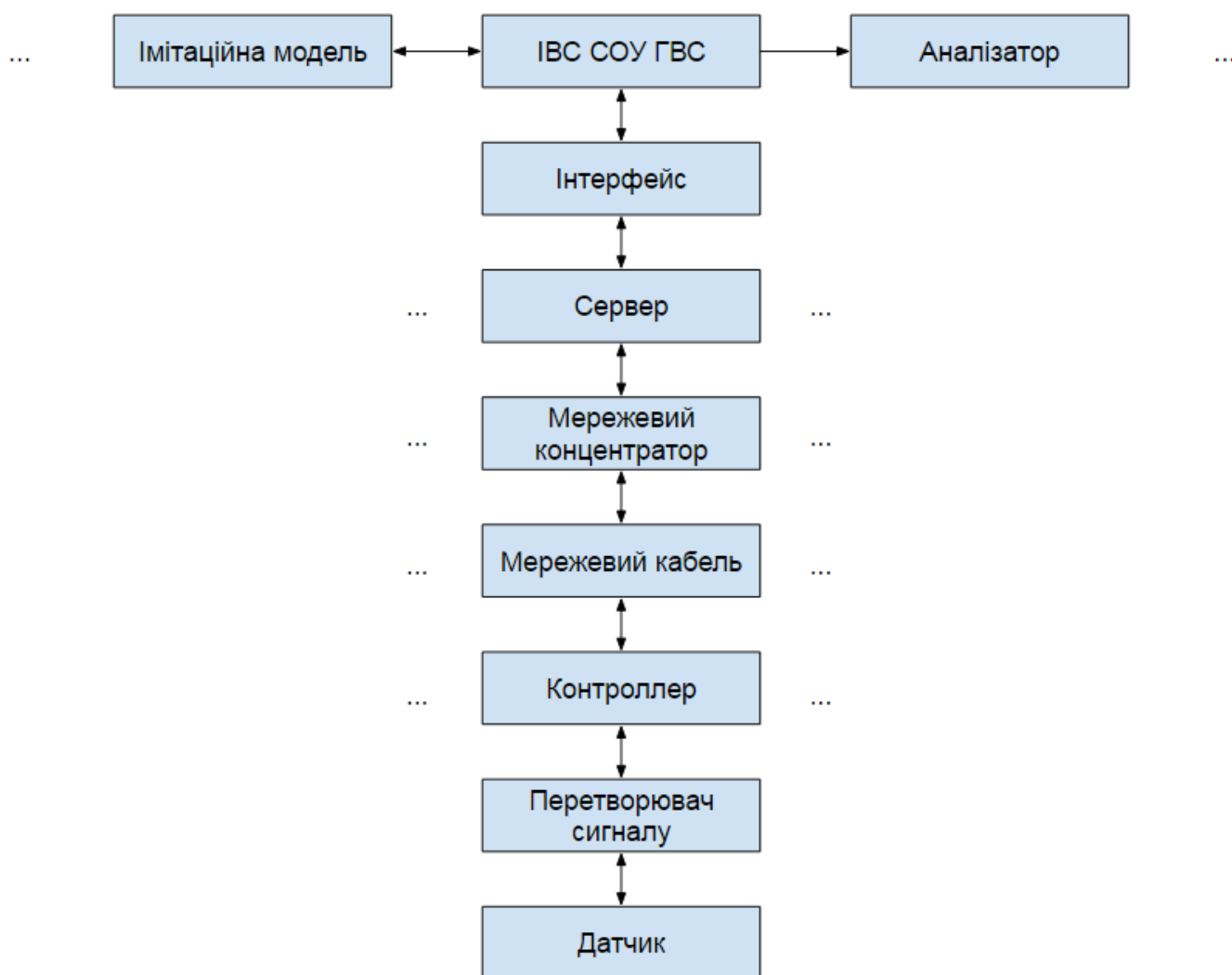


Рис. 2.2. Структурна схема СОУ ГВС.

Як бачимо зі структурної схеми СОУ ГВС найбільш насиченим з точки зору компонентів системи, що розглядаються в інтегральних розрахунках є IBC СОУ ГВС, а інші компоненти СОУ ГВС можна розглядати комплексно як окремі елементи.



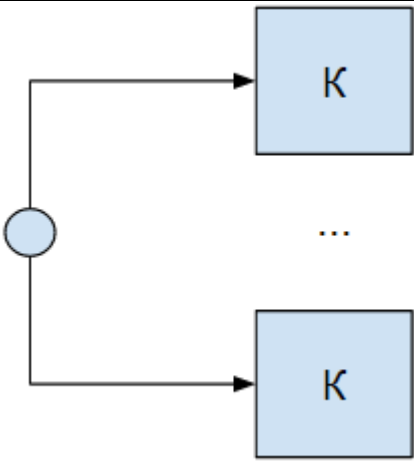

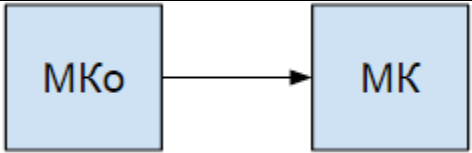
Виходячи зі структури обладнання IBC, що була подана в підрозділі 2.1 та показана на рис. 2.1, а також на базі принципів побудови карти надійності систем з першого розділу дисертаційної роботи, можна побудувати карту надійності IBC СОУ ГВС (фінальний варіант карти надійності подано на рис. 2.3).

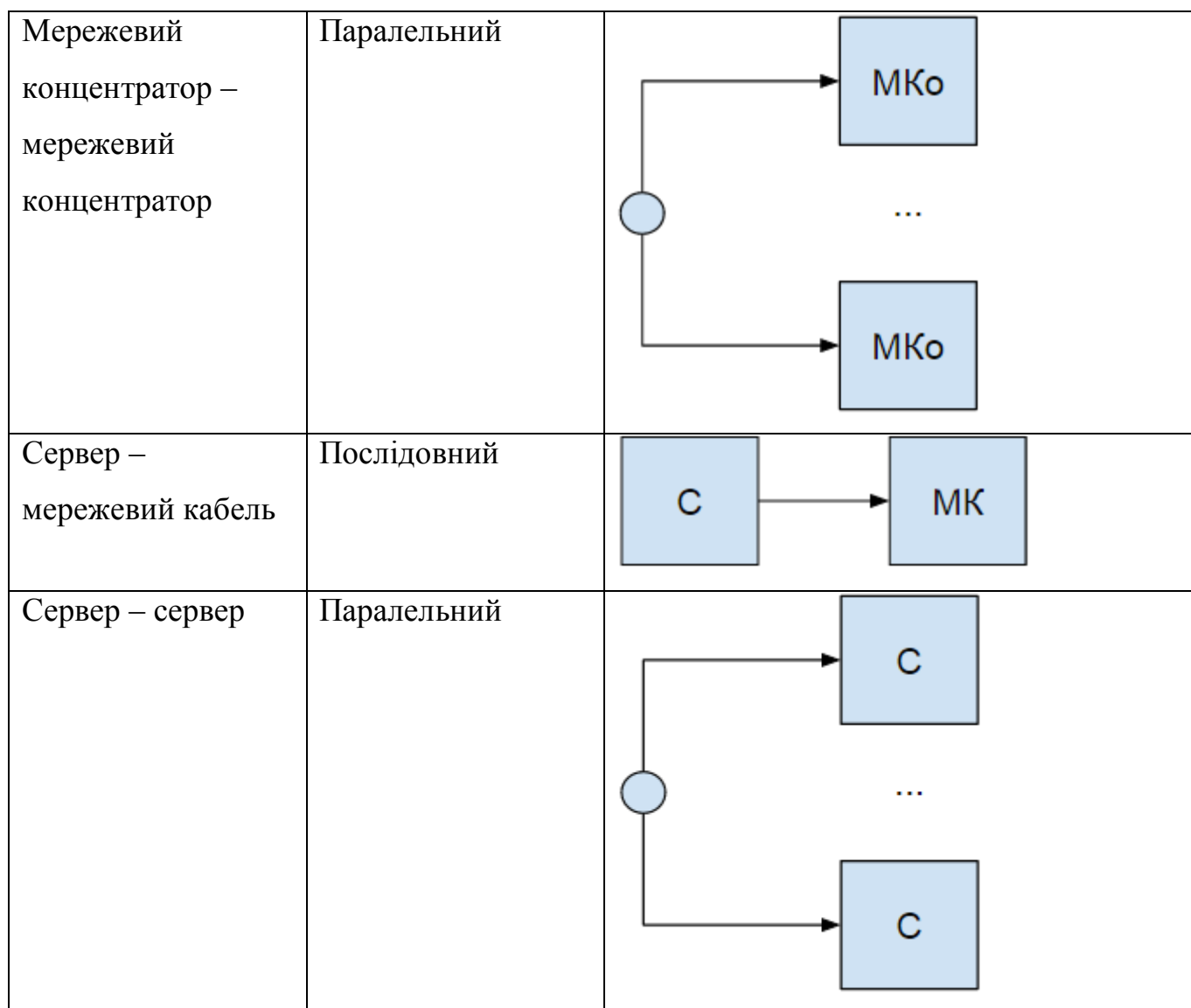
Розглянемо включення кожного міжелементного зв'язку як показано в таблиці 2.2. В даній таблиці послідовний тип з'єднання характерний для компонентів, які

перестають функціонувати при виході з ладу одного з них, тоді як при паралельному з'єднанні, вихід з ладу одного з компонентів не впливає на працездатність іншого.

Таблиця 2.2.

Послідовно-паралельні зв'язки компонентів ІВС для побудови карти надійності

Зв'язок	Тип з'єднання	Схема
Датчик – перетворювач сигналу	Послідовний	
Перетворювач сигналу – контроллер	Послідовний	
Контроллер – Контроллер	Паралельний	
Контроллер – Мережевий кабель	Послідовний	
Мережевий концентратор – мережевий кабель	Послідовний	



Поступове обчислення параметрів надійності вузлів в ієрархічній структурі СОУ ГВС, починаючи від елементів нижчих рівнів підпорядкування (сенсорів, мікроконтролерів, та ін.), і закінчуючи системою в цілому, можна обчислити комплексний показник ймовірності безвідмовної роботи системи.

Отримавши такий показник, наступним етапом досліджень СОУ ГВС на надійність є пошук шляхів підвищення надійності як окремих компонентів, так і системи в цілому з поступовим перерахунком вказаного показника надійності в залежності від застосованих заходів.

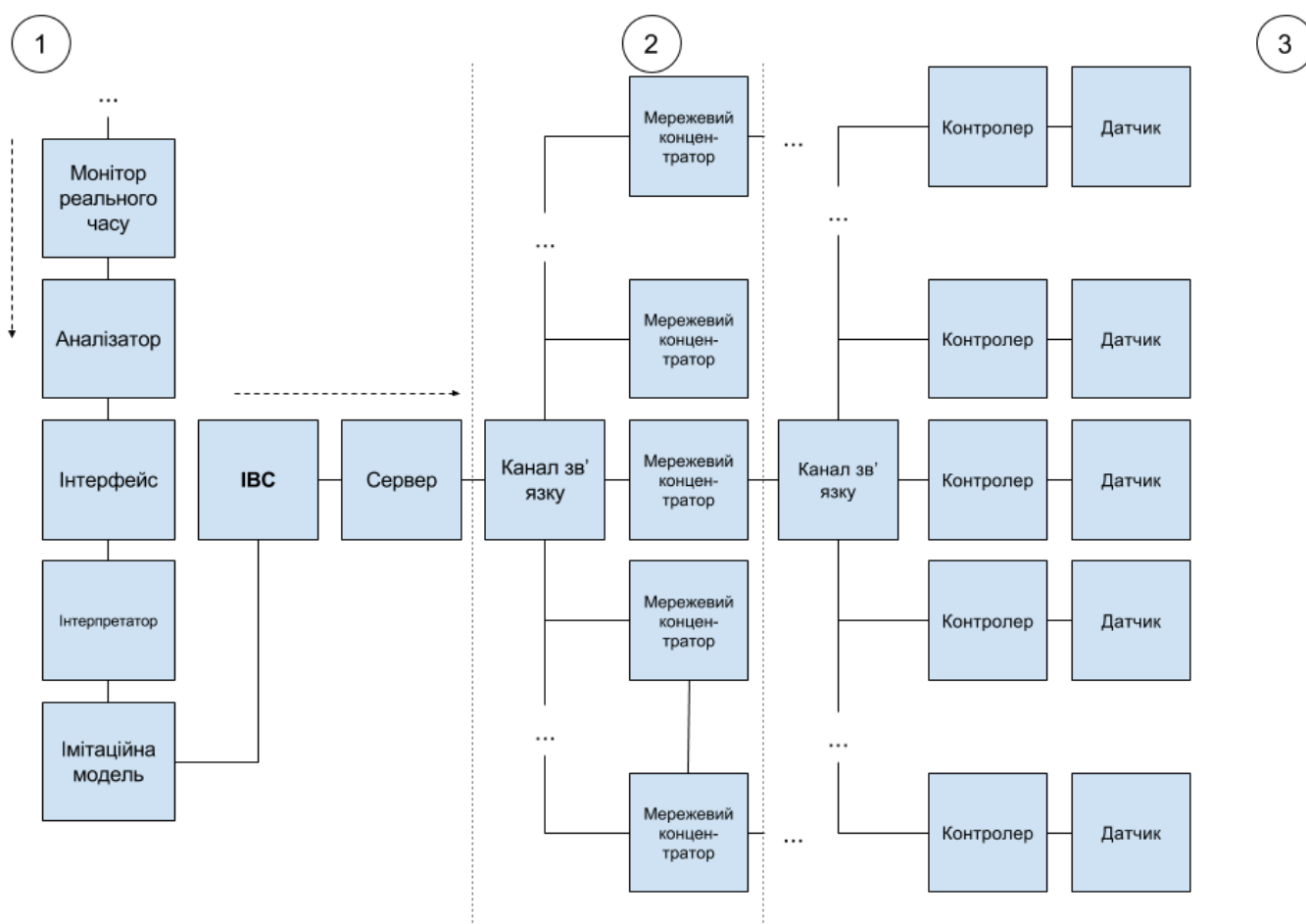


Рис. 2.3. Карта надійності СОУ ГВС з синхронною моделлю.

На наведеному вище рисунку (рис. 2.3) зображена отримана карта надійності СОУ ГВС з розгорнутою структурою IBC у вигляді розгалуженої паралельно-послідовної структури.

Всі компоненти даної карти для зручності подальших обчислень об'єднані в 3 великі групи за своїм функціональним призначенням:

1. Обчислювальна група (виконання імітаційних обчислень та формування управляючих впливів).
2. Транспортна група (передача даних від датчиків до компонентів групи 1).
3. Вимірювальна група (збір та первинне перетворення даних про хід виробничого процесу).

Дане графічне подання використовується для представлення взаємозалежності параметрів надійності структурних елементів системи, що досліджується на надійність, і є необхідною для отримання розрахункових параметрів надійності як окремих елементів системи, так і системи в цілому.

На карті послідовно поєднані елементи, вихід з ладу яких впливає на роботу всієї вітки зображеного дерева, а паралельно – елементи, вихід з ладу яких не переводить систему в непрацездатний стан, але все ж створює нештатну ситуацію.

2.3. Розрахунок показників надійності СОУ ГВС на базі карти надійності

Для отримання розрахункових параметрів слід скористатись картою надійності, отриманою в попередньому підрозділі, починаючи з характеристик одиночних елементів системи, які можна отримати як номінальні, заявлені виробником обладнання, чи отримані експериментальним шляхом.

Як бачимо з рис. 2.3., всю модель надійності ІВС СОУ ГВС можна умовно розділити на 3 групи, з'єднані між собою послідовно. Візьмемо для розрахунку в якості параметра надійності – ймовірність безвідмовної роботи.

Умовою працездатності всієї системи є працездатність кожного компонента системи. У вигляді логічної функції це можна подати як:

$$F = Group_1 \wedge Group_2 \wedge Group_3 \quad (2.1)$$

Провівши мінімізацію, спрощення та арифметизацію виразу, отримаємо:

$$F = Group_1 \cdot Group_2 \cdot Group_3 \quad (2.2)$$

Тоді загальна ймовірність для всієї СОУ (P_s) буде розрахована за формулою 2.3:

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) = \prod_{i=1}^3 P_i(t) \quad (2.3)$$

де $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ – ймовірності безвідмовної роботи груп вузлів представлених трьома групами карти відповідно. Як бачимо, в формулі 2.3 з'явилась залежність від часу, що зумовлено характером розподілу ймовірностей безвідмовної роботи в залежності від експлуатаційного періоду відповідного обладнання.

Як уже зазначалось в підрозділі 2.1, для виконання інтегральних розрахунків зазвичай є заводські або випробувальні експериментальні характеристики таких

параметрів надійності як, наприклад, середнє напрацювання на відмову, чи ймовірність виникнення відмов. Проте, СОУ ГВС є ієрархічною системою, в якій, в залежності від компоновки структурної схеми надійності, одні елементи системи так чи інакше залежать від працездатного чи непрацездатного стану інших, а самі розрахунки мають різні методики в залежності від характеру з'єднання елементів (табл. 2.2).

Параметри надійності розраховують по-різному в залежності від типу з'єднання елементів:

- паралельного;
- послідовного.

Розглянемо по черзі розрахунок показника ймовірності безвідмовної роботи кожної групи компонентів системи.

Виходячи з карти надійності, ІВС не буде працездатною тоді, коли хоча б один елемент СОУ ГВС, першої групи буде непрацездатний, таким чином умова працездатності може бути подана у вигляді логічної функції 2.4:

$$F_{w1} = RTM \wedge A \wedge IF \wedge INT \wedge IM \wedge S, \quad (2.4)$$

де RTM – монітор реального часу, A – аналізатор, IF – інтерфейс, INT – інтерпретатор, IM – імітаційна модель, S – сервер.

Провівши мінімізацію, спрощення та арифметизацію виразу згідно правил булевої алгебри, отримаємо:

$$F_{w1} = RTM \cdot A \cdot IF \cdot INT \cdot IM \cdot S, \quad (2.5)$$

Підставивши у вираз замість подій їх ймовірності, отримаємо розрахунок ймовірності безвідмовної роботи першої групи компонентів:

$$P_1(t) = P_{RTM}(t) \cdot P_A(t) \cdot P_{IF}(t) \cdot P_{INT}(t) \cdot P_{IM}(t) \cdot P_S(t). \quad (2.6)$$

Менш тривіальним є розрахунок ймовірності безвідмовної роботи для другої групи компонентів ІВС, оскільки тут варто приймати до уваги, яким чином поставлений у відповідність мережевий концентратор компонувальним одиницям ГВС, в межах якої виконується дослідження СОУ, що залежить від топології ГВС, а також насиченості ІВС промисловими датчиками.

Прийнявши до уваги тип СОУ ГВС, що розглядається до уваги, а саме СОУ ГВС з імітаційною моделлю, що характерна для невеликих мілко- та середньосерійних виробництв, для яких характерним є переважно наявність однієї чи більше гнучких автоматизованих ліній, можна зробити висновок, що слід розглядати таку структуру ІВС, в якій мережеві концентратори поставлені у відповідність одній виробничій лінії.

Таким чином, можна зробити висновок, що слід розглядати лише паралельне компонування мережевих концентраторів у карті надійності.

Ще одним моментом, що впливає на кінцевий розрахунок ймовірності безвідмовної роботи є логічна функція працездатності, яку слід розглядати в залежності від характеру взаємозалежності гнучких виробничих ліній. В такому випадку потрібно розглянути наступні варіанти:

- всі лінії (а, відповідно, і мережеві концентратори) незалежні (2.7.1 – 2.7.3);

$$\overline{F}_2 = \overline{F}_{l1} \wedge \overline{F}_{l2} \wedge \dots \wedge \overline{F}_{ln} \quad (2.7.1)$$

$$Q_2(t) = [1 - P_{l1}(t)] \cdot [1 - P_{l2}(t)] \cdot \dots \cdot [1 - P_{ln}(t)] = \prod_{i=1}^n [1 - P_{li}(t)] \quad (2.7.2)$$

$$P_2(t) = 1 - Q_{ln}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_{li}(t)] \quad (2.7.3)$$

- працездатність певних ліній залежить від працездатності інших.

В цьому випадку структуру слід перекомпонувати з паралельної на більш складну послідовно-паралельну з урахуванням взаємозалежності виробничих ліній,

а розрахунки вести згідно формули 2.7.1 для паралельних компонентів, підставляючи отриманий результат у формулу для послідовних, отримуючи таким чином добуток ймовірностей безвідмовної роботи блоків компонентів.

Третя група обладнання ВОК завжди можна розглядати як підключені паралельно мережеві кабелі з вимірювальними компонентами (датчик, контролер, перетворювач сигналу), що між собою підключені послідовно. Таким чином, прийнявши наступні умовні позначення:

Se – датчик,

M – перетворювач сигналу,

C – промисловий контролер,

логічна функція надійності роботи третьої групи для n підключених датчиків буде наступною (2.8):

$$F_3 = \overline{(Se_1 \wedge C_1 \wedge M_1)} \wedge \overline{(Se_2 \wedge C_2 \wedge M_2)} \wedge \dots \wedge \overline{(Se_n \wedge C_n \wedge M_n)}. \quad (2.8)$$

Скориставшись аналогічними перетвореннями, які були здійснені для розрахунків ймовірності безвідмовної роботи попередніх груп обладнання, отримаємо наступне:

$$P_3(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_{Sei}(t) \cdot P_{Ci}(t) \cdot P_{Mi}(t)] \quad (2.9)$$

Таким чином, підсумковий розрахунок ймовірності безвідмовної роботи на певний момент часу t всієї СОУ ГВС можна провести шляхом підстановки формули 2.6, 2.7.3, та 2.9 у формулу 2.3:

$$P(t) = P_{RTM}(t) \cdot P_A(t) \cdot P_{IF}(t) \cdot P_{INT}(t) \cdot P_{IM}(t) \cdot P_S(t) \cdot \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n \left[1 - (1 - \prod_{j=1}^{K_i} [1 - P_{Sej}(t) \cdot P_{Cj}(t) \cdot P_{Mj}(t)]) \right] \right\} \quad (2.10)$$

де n – кількість мережевих концентраторів, а k_i – кількість датчиків, закріплених за кожним мережевим концентратором.

Отримавши вказівки до розрахунку ймовірності безвідмовної роботи системи, слід перейти до побудови системи діагностики, центральним компонентом якої є модель об'єкта діагностики.

Система технічної діагностики є невід'ємним компонентом будь-якої системи, для якої виконується дослідження на надійність з ціллю застосування методів її, надійності, підвищення при виникненні в системі нештатних ситуацій.

2.4. Розробка системи діагностики нештатних ситуацій ІВС СОУ ГВС

Технічне забезпечення інформаційних підсистем (ІП) сучасних гнучких виробничих систем (ГВС) базується на обладнанні збору (сенсори, мікроконтролери), передачі (волоконно-оптичні та металеві кабелі), концентрації (мережеві концентратори), та агрегації даних (сервери, промислові агрегатори даних).

Передача даних здійснюється згідно з закритими приватними, чи відкритими стандартизованими протоколами даних. Найширше застосовуваним стандартом при проектуванні ІП ГВС є PROFINET, що забезпечує збір та передачу даних в мережі ІП без втрат за умови нормального функціонування мережевого обладнання [31].

Коли мова йде про дискретне виробництво, то варто обмежитись розглядом виключно протоколу TCP/IP for PROFINET CBA, що забезпечує передачу мережевих пакетів даних з затримкою, яка не перевищує 100 мс [31].

Технологія TCP/IP for PROFINET CBA гарантує доставку даних від засобів збору даних до сервера у випадку нормального функціонування обладнання. Проте обладнання може виходити з ладу, давати збої в роботі, через що не відбудеться фіксація стану певного вузла чи комплексу вузлів ГВС.

Звідси впливає проблема діагностики втрат та отримання недостовірних даних в ІВС СОУ ГВС. Для боротьби з недостовірними даними використовуються превентивні методи – регламенті перевірки та тестування, а виявити їх в процесі ходу виробничого процесу, відділивши факт поломки датчика від факту поломки обладнання, інформацію про хід роботи якого збирає датчик практично неможливо.

Проте є інша ситуація, що характеризується повною відмовою роботи датчика. Такі випадки теоретично можливо відділити від поломки виробничого обладнання ГВС, оскільки вони ведуть до повних втрат (відсутності фіксації) даних про хід виробничого процесу.

Для вирішення проблеми діагностики неотримання (втрат) даних про стан ходу виробничого процесу ГВС необхідним кроком є проектування системи технічної діагностики (ТД), що включає в себе, згідно з класичним підходом до розробки такого типу систем наступні три етапи:

1. Аналіз об'єкта діагностики, ціллю якого є визначення його можливих станів.
2. Обмеження переліку цих станів та вибір параметрів, що спостерігаються.
3. Розробка алгоритмів визначення працездатності об'єкта та локалізації дефекту.

Об'єктом дослідження є ІВС ГВС, що виконує передачу даних з усіх сенсорів через певні фіксовані періоди часу для періодичної фіксації стану всієї системи. Періодичність фіксації та відправки даних про стан системи важлива з наступних причин: стан системи передається повністю консолідовано, що дозволяє розглядати об'єкт технічного діагностування як дискретний, що значно спрощує його проектування і реалізацію програмного забезпечення ТД.

В процесі роботи об'єкта діагностування принципово важливо виділити стан працездатності об'єкту, на основі аналізу якого слід приймати подальші рішення з управління об'єктом ТД.

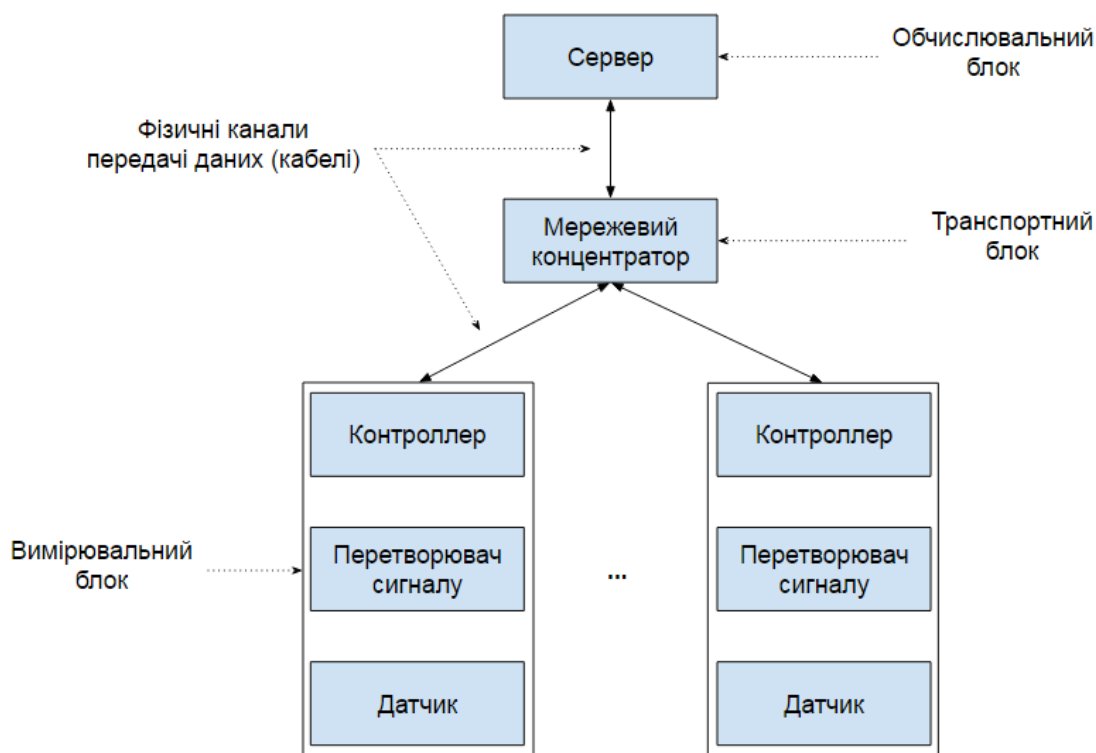


Рис. 2.4 Ділянка ІІ ГВС (об'єкт технічного діагностування).

При виконанні кроків по розробці системи технічного діагностування ІІ ГВС (рис. 2.4) також слід звертати на такі характеристики, що притаманні СТД як:

- висока вартість відмови автоматичних систем;
- обмежений доступ до засобів ремонту в умовах виробництва;
- технічна складність реалізації веде до зменшення надійності;
- обмежена достовірність показників надійності [105].

Враховуючи специфіку об'єкту технічного діагностування, а саме те, що діагностується ІІ ГВС, варто зазначити, що вищенаведені в попередньому абзаці характеристики СТД, окрім останньої, не несуть впливу на кінцеве рішення задачі, оскільки, збір і передача даних, тобто апаратно-технічна база системи діагностики забезпечується власне ІІ ГВС.

Важливою особливістю проектування СТД, яку також потрібно враховувати є те, що немає однозначно вірних розроблених методик визначення показників надійності об'єкту технічного діагностування, і для кожного такого об'єкту вони повинні визначатись індивідуально [51].

Поставлена задача проектування STD ІВС ГВС є комплексною, але нас вона цікавить насамперед як підзадача в контексті вирішення задачі підвищення надійності і працездатності систем оперативного управління (СОУ) ГВС з застосуванням методу дублюючої синхронної моделі, що володіє властивостями відновлення втрачених чи несвоєчасно отриманих даних [56].

Зміна працездатності системи (рис. 2.4) призводить до переходу системи з одного стану в інший. Стан об'єкту технічної діагностики в загальному випадку можна представити у вигляді n – вимірного вектору X (2.11), кожен елемент якого відображає числову характеристику стану певного компонента об'єкта технічного діагностування (ОТД), а сам перехід об'єкту з одного стану в інший при лінійному переході – передати за допомогою матриці-оператора A (2.12), і таким чином отримати новий стан ОТД – X_n :

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n], A = [a_{i,j}], X_n = AX \quad (2.11)$$

У випадку, коли модель ОТД є дискретною (як було зазначено при постановці задачі), а перетворення – нелінійним, тобто зазнає додаткових впливів на працездатність, кожен наступний стан об'єкта можна визначити згідно формули:

$$X(k+1) = AX(k) + F(k) \quad (2.12)$$

Як уже було зазначено при постановці задачі, завдяки тому, що фіксація стану ОТД відбувається через рівні проміжки часу, можна розглядати модель ОТД як дискретну.

Одним з основних завданням моделювання ОТД є побудова кривої працездатності та її меж, вихід за які позначатиме локалізацію несправності.

Важливим є те, що, по суті, втратою працездатності ІП ГВС як ОТД є факт неотримання даних з одного чи декількох сенсорів ІП. Таким чином, компоненти вектору стану можуть приймати значення 0 чи 1, в залежності чи був факт

отримання інформації, чи ні, причому власне значення параметру, що фіксується сенсором, є неважливим.

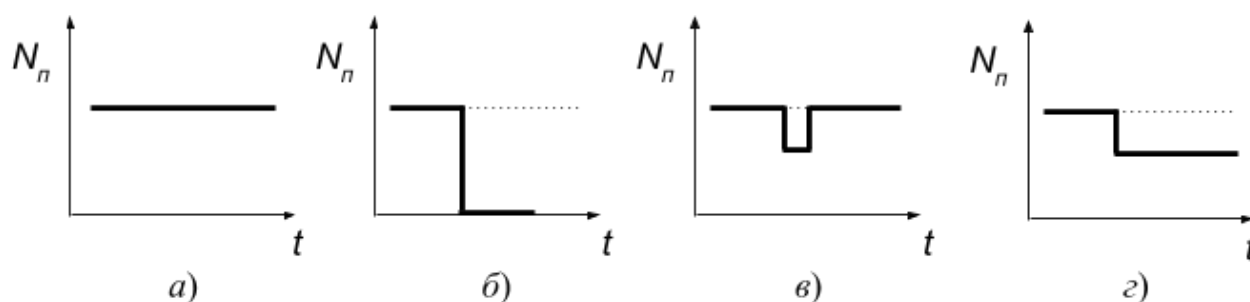


Рис. 2.5. Характер кривої працездатності для ІІ ГВС, де t – час, N_n – кількість працездатних компонентів ІІ ГВС.

Таке визначення вектору стану дає можливість звужити модель зміни стану до випадку так званої раптової відмови, коли неперервна частина дискретної моделі не впливає на поведінку кривої працездатності (рис. 2.5), що приводить модель до спрощеного виду:

$$X(k+1) = AX(k) \quad (2.13)$$

При цьому матриця-оператор перетворення може розглядатись при фіксованих контрольованих параметрах (у даному випадку – факту надходження чи не надходження інформації з сенсору в певний період фіксації).

Отримавши параметри ОТД, що фіксуються і аналізуються, слід виконати розробку алгоритмів, що виконують власне аналіз втрати працездатності ОТД.

Оскільки кожен відповідний сенсор відповідає компоненту вектору стану з певним індексом, алгоритм зводиться до визначення власне компонента ІІ ГВС за індексом стану.

Власне отриманої інформації про факт втрати даних цілком достатньо для прийняття рішення про запуск процесу ремонту чи, у випадку застосування дублюючої моделі для підвищення відмовостійкості СОУ ГВС, - запуску процесу відновлення втрачених даних до виконання процедури ремонту.

2.5. Висновки до другого розділу

1. Проведена структурна та функціональна декомпозиція інформаційно-вимірювальної системи СОУ ГВС на компоненти, що розглядаються на найнижчому рівні з точки зору параметрів надійності, і які беруть участь в розрахунку інтегральних показників надійності всієї системи.

2. Вперше на базі виконаної декомпозиції розроблений загальний вигляд карти надійності ІВС СОУ ГВС, а також подані вказівки щодо розрахунку інтегральних показників надійності всієї системи, в залежності від компонування як ІВС, так і технологічного обладнання виробничої системи.

3. Розроблено модель ІВС як об'єкта технічної діагностики зі зведенням кривої надійності до варіанту випадкових відмов для подальшого застосування при дослідженні та розробці інформаційних методів резервування.

3. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ РЕЗЕРВУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ІВС СОУ ГВС

3.1. Резервування апаратної складової ІВС СОУ ГВС

Класичні методи підвищення надійності систем управління базуються на принципі резервування. Суть даного принципу можна висловити в наступному правилі: *при проектування системи, на початкових етапах структурна та апаратна реалізації зводяться до створення мінімально необхідної кількості елементів системи, при якій відмова кожного елементи призводить до автоматичного невиконання одної чи декількох передбачених технічним завданням функцій, а також передбачає обробку мінімально необхідної кількості інформації за мінімально допустимий час.*

Проте, очевидно що така система не є надійною, і в більшості випадків, вимоги до надійності не дозволяють обмежуватись тільки цим правилом.

Слід зазначити, що проблема підвищення надійності системи в цілому повинна вирішуватись, в першу чергу, шляхом розробки та застосування високонадійних елементів. Проте і такий варіант не завжди можливий, причиною чому можуть бути:

- обмежений бюджет підприємства;
- відсутність на ринку компонентів, що забезпечують необхідний рівень надійності, відображений в технічному завданні на розробку СОУ ГВС.

Обидві проблеми є актуальними і призводять до того, що часто спроектовані та запуснені у роботу системи не можна назвати високонадійними. Для таких систем протягом останніх десятиліть були розроблені методи підвищення надійності, що в комплексі носять назву *резервування*.

Загалом виділяють чотири різні види резервування:

– структурне – вид резервування, при якому в систему вводяться надлишкові (резервні) структурні елементи, що беруть на себе виконання функцій при виході з ладу основного екземпляра елемента системи;

– інформаційне – це резервування, що забезпечує підвищення надійності системи шляхом використання надлишкової інформації про стан системи та характер процесів, що в ній протікають. Найпростішим прикладом є багаторазова передача однієї і тієї ж інформації по каналу даних;

– часове – це резервування, що використовує для підвищення надійності часовий резерв, тобто для виконання певної функції елемента системи виділяється додатковий час, що є необхідним і достатнім для відновлення штатного режиму роботи.

– функціональне – це резервування, суть якого полягає в наданні обладнанню додаткових функцій з ціллю заміни іншого обладнання, що не може їх здійснювати.

Варто зазначити, що всі ці типи резервування можуть застосовуватись як до системи в цілому, так і окремо, і комбіновано до кожного елемента системи окремо. Кожен з видів резервування доповнює структурну схему надійності і має свої підвиди.

Розглянемо кожен вид резервування в застосуванні до задачі підвищення надійності роботи ІВС СОУ ГВС, адже деякі види резервування в залежності від структурних особливостей, а також функцій, що виконує технологічне обладнання ІВС не є завжди можливим, або доцільним.

Розглянемо підвиди структурного резервування (рис. 3.1).

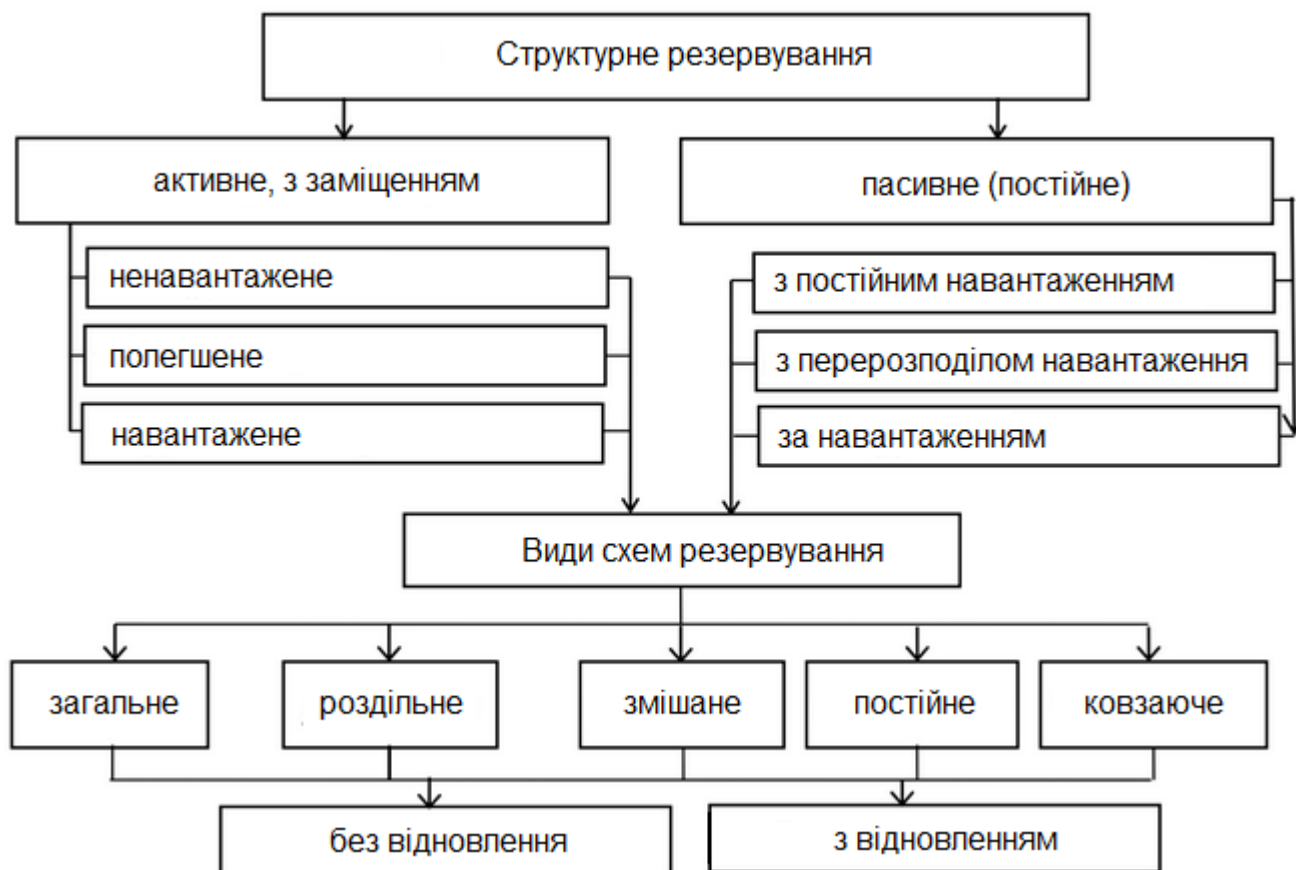


Рис. 3.1. Види структурного резервування

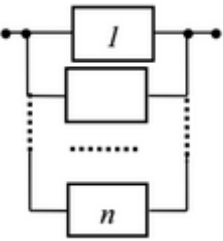
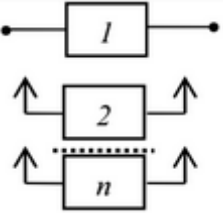
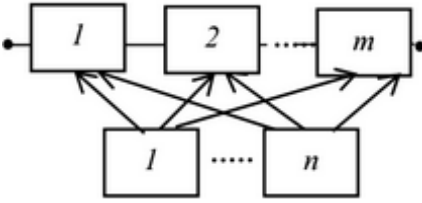
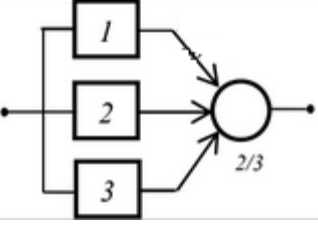
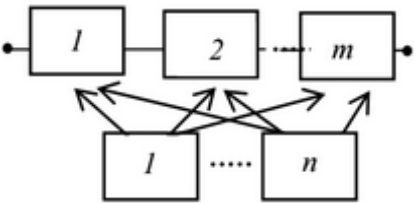
На схемі підвидів структурного резервування показані всі шляхи виконання цього способу підвищення надійності СОУ ГВС в залежності від:

- режиму роботи резервних елементів;
- характеру навантаження;
- відновлюваності елементу чи системи після переходу основного обладнання в непрацездатний стан.

Очевидно, що в залежності від схеми резервування, що застосовується, буде виконаний пере розрахунок кількісних параметрів надійності в загальному, і ймовірності безвідмовної роботи в окремому випадку (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Розрахунки показників надійності для основних видів структурного резервування

Вид резервування	Структурна схема надійності	Розрахункові формули показників надійності
Резервування з заміщенням: навантажений резерв		$P_p(t) = 1 - Q_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)];$ $P_d(t) = 2 \cdot e^{-\lambda \cdot t} - e^{-2 \cdot \lambda \cdot t};$ $T_p = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{n-i+1} = T \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{n-i+1}.$
Резервування з заміщенням: ненавантажений резерв з цілою кратністю		$P_p(t) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\lambda \cdot t)^i}{i!} e^{-\lambda \cdot t};$ $P_d(t) = (1 + \lambda \cdot t) e^{-\lambda \cdot t};$ $T_p = n \lambda^{-1} = nT.$
Навантажений резерв з дробовою кратністю		$P_p(t) = \sum_{i=0}^n C_{n+m}^i [1 - P(t)]^i [P(t)]^{n+m-i},$ $C_{n+m} = \frac{(n+m)!}{i! \cdot (m+n-i)!};$ $T_p = T \cdot \sum_{i=0}^n \frac{1}{m+i}.$
Мажоритарне резервування		$m=2, n=1;$ $P_p(t) = P_p(t) [3P^2(t) - 2P^3(t)];$ $T_p = \frac{5}{6} T.$
Ненавантажений резерв: ковзаюче резервування		$P_p(t) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(m \cdot \lambda \cdot t)^i}{i!} e^{-m \cdot \lambda \cdot t};$ $T_p = \frac{n+1}{m\lambda} = \frac{n+1}{m} T.$

Кожен з цих видів структурного резервування так чи інакше може використовуватись в рамках забезпечення надійності роботи СОУ ГВС в контексті

підвищення надійності компонентів ІВС СОУ ГВС, проте це не завжди технічно можливо.

Розширена таблиця застосування резервування апаратної частини ІВС засобами структурного резервування подано в таблиці нижче:

Таблиця 3.2

Застосування структурного резервування до компонентів ІВС СОУ ГВС

+ доцільно - неможливо, або не завжди можливо +/- недоцільно	Резервування з заміщенням: навантажений резерв	Резервування з заміщенням: ненавантажений резерв	Ненавантажений резерв з дробовою кратністю	Ковзаюче резервування	Мажоритарне резервування
Вимірювальна група	+	+	-	+/-	+/-
Мережевий кабель	-	+	-	-	-
Мережевий концентратор	+/-	+	-	-	-
Сервер обробки даних	+/-	+	+/-	+/-	+/-

З поданої таблиці можна зробити висновок, що найбільш природним видом структурного резервування для ІВС СОУ ГВС є ненавантажений резерв з заміщенням. Тобто заміна компонента на резервний при виході з ладу першого. Проте, такий спосіб резервування має певні недоліки:

- додаткові витрати на резервне обладнання (повне дублювання кількості компонентів);
- додаткові витрати на проведення періодичних регламентних тестових прогонів (півірки);

– простій обладнання призводить до його морального старіння, і при модернізації системи всі резервні компоненти можуть бути викинуті, не пропрацювавши зовсім, або пропрацювавши невідчутну кількість часу.

Інші види структурного резервування є часто недоцільними для всіх компонентів ІВС через характер їх функцій (обробка інформації). Ці види резервування дають такий ефект як дублювання інформації, що в рази підвищує навантаження на всі види обладнання (а, отже, прискорює їх знос), призводить до збільшення затримок в передачі мережевих сегментів даних (згідно термінології протоколу TCP/IP), від конкретного датчика до аналізатора СОУ ГВС.

Функціональне резервування є одним з найбільш застосовних в гнучких виробництвах, особливо з використанням станків з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Перепрограмування дозволяє забезпечити виконання одним і тим же гнучким виробничим модулем різних технологічних операцій, дозволяючи станкам бути взаємозамінними для цілого спектру задач.

Проте для ІВС ситуація зовсім інша, оскільки, практично всі її структурні компоненти володіють сталим набором функцій і не підлягають перепрограмуванню. Таким чином датчики, промислові контролери, перетворювачі сигналів, мережеві концентратори, та сервери агрегації даних не підлягають перепрограмуванню з ціллю розширення спектру їхніх функцій взагалі, а деякі з них – контролери, концентратори та сервери можуть отримувати оновлення програмного забезпечення ціллю яких є лише оптимізація виконання їхніх функцій, що не несе ніяких впливів з точки зору надійності.

Часове резервування, безумовно, є одним з найефективніших способів подолання такого типу нештатних ситуацій як збої. Виділення часових резервів на виконання технологічним обладнанням своїх функцій дозволяє уникнути повної зупинки ходу технологічного процесу виробництва в рамках гнучких автоматизованих ліній, і може застосовуватись до обладнання як показано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Часове резервування компонентів ІВС СОУ ГВС

+ доцільно - неможливо, або не завжди можливо +/- недоцільно	Часове резервування	Опис позитивного ефекту
Датчик	+/-	Для датчиків збої є нехарактерними нештатними ситуаціями, а апаратні збої виявляються шляхом проведення регламентних перевірок
Перетворювач сигналу	+	Для перетворювачів сигналу збої є нехарактерними нештатними ситуаціями, а апаратні збої виявляються шляхом проведення регламентних перевірок
Контроллер	+	Сучасні промислові контроллери з точки зору надійності в аспекті виникнення збоїв є самовідновлюваними. При забезпеченні необхідного часового резерву, перезавантаження контроллера відновить його працездатність з певною долею ймовірності.
Мережевий кабель	+	Оптоволоконні кабелі, що відповідають стандарту PROFINET, з часом втрачають свої транспортні властивості. Часове резервування можливо застосовувати з моменту виявлення затримок в доставці мережевих сегментів до завершення виконання змінно-добового завдання, після чого слід виконати заміну кабелю.
Мережевий концентратор	+	Мережеві концентратори в аспекті збоїв є самовідновлюваними. При забезпеченні необхідного часового резерву, перезавантаження концентратора призведе до зниження затримки обробки мережевих сегментів даних.

Сервер обробки даних	+/-	Сервери обробки даних в аспекті збоїв є самовідновлюваними. Проте, в зв'язку з відносно довгим часом перезавантаження (1-5 хвилин в залежності від моделі), даний тип резервування не є прийнятний для всіх типів виробництв. Тому для даного обладнання часове резервування слід застосовувати в парі зі структурним заміщенням з ненавантаженим резервом.
----------------------	-----	---

Ще одним не менш важливим компонентом забезпечення надійності роботи СОУ ГВС, що стосується виключно етапу експлуатації системи є *технічне обслуговування* (ТО), під яким розуміють комплекс організаційних та технічних заходів, що спрямовані на попередження відмов, на забезпечення справного стану елементів системи та системи в цілому в процесі експлуатації.

До основних завдань ТО відносять:

- підтримку головних технічних показників елементів та вузлів системи на заданому рівні;
- попередження прискореного зносу та старіння елементів системи;
- продовження міжремонтних строків експлуатації.

Для досягнення цих задач застосовуються такі види робіт як:

- *профілактичні роботи* – система заходів, що спрямовані на попередження виникнення відмов, або ж зниженні такої ймовірності, що включає в себе калібрування, регулювання, технічні огляди, заміну комплектуючих елементів, відновлення захисних покриттів, та ін..;
- *регламентні перевірки* – перевірки, що проводяться при досягненні елементами системи деяких вказаних регламентних показників.

Такі заходи також мають кількісні параметри оцінки, проте вони зазвичай розглядаються окремо від загальної схеми оцінки параметрів надійності системи і слугують цілі визначення ефективності таких заходів. Позитивним ефектом від

профілактичних робіт та регламентних перевірок є прогнозування моменту заміни обладнання, а також виявлення такого типу відмов як *відмова параметра виконання*.

І останнім з перелічених на початку даного підрозділу способів резервування є інформаційне резервування. Даний тип резервування є найменш застосовним в контексті задач забезпечення надійності ГВС в цілому, а також СОУ ГВС в частковому випадку.

Одним із найпопулярніших застосувань інформаційного резервування є повторна передача даних, яка є невід'ємною частиною стандарту PROFINET і протоколу передачі даних PROFINET TCP. Проте є й інші способи забезпечення надійності зберігання та передачі даних, що успішно застосовуються в інших сферах науки і техніки (телекомунікації, штучний інтелект і т.д.), а тому доцільно буде дослідити їх застосування в задачі інформаційного резервування ІВС СОУ ГВС.

3.2. Інформаційне резервування ІВС СОУ ГВС

Хоча СОУ ГВС за своєю природою є технічною системою, і використовуючи один чи декілька видів резервування можна отримати підвищення надійності, а таким чином і ефективності роботи системи, в природі СОУ ГВС є одна особливість, що дозволяє розглядати підвищення надійності і з іншої точки зору.

Як вже зазначалось в розділах 1 та 2 поточної дослідницької роботи, апаратну основу СОУ ГВС становить ІВС СОУ ГВС, що містить переважно засоби збору, збереження, та передачі даних з кінцевого обладнання до центральних вузлів СОУ ГВС з синхронною моделлю. Така особливість наводить на думку, що саму ІВС СОУ ГВС можна розглядати як інформаційну систему разом з тим фактом, що один з центральних компонентів, а саме імітаційна модель ГВС містить всю необхідну агреговану інформацію про стан виробничої системи, а тому може використати розрахункові величини на базі цієї інформації для підвищення надійності СОУ ГВС в цілому.

Виходячи з вищеописаних особливостей, варто зазначити, що поставлену проблему можна перефразувати з точки зору теорії інформації та кодування: *існує деякий канал, що генерує послідовність даних з певними втратами, зумовленими тимчасовим виходом з ладу обладнанням*. При такій постановці проблеми виглядає логічним звернутись до інших галузей науки, в яких дані проблеми вже мають напрацьовані рішення. До них можна віднести:

- теорію інформації та кодування;
- галузь телекомунікаційних систем;
- теорію штучного інтелекту;
- ...

В вищезазначених галузях науки та техніки так чи інакше дані проблеми виникають як першочергові, а також відомі алгоритми і способи їх часткового чи

повного вирішення. Слід розглянути можливість застосування таких напрацьованих рішень для підвищення надійності ІВС СОУ ГВС.

3.2.1. Код Хемінга

Код Хемінга – це спосіб кодування інформації (чисел в двійковому представленні), що підтримує самоконтроль та корекцію, і застосовується в користувацькій електроніці, а саме пристроях збереження даних.

Кодами, що підтримують корекцію даних, називаються коди, в яких можливе автоматичне виявлення та виправлення помилок зчитування даних. Для побудови такого типу кодування, що розрахований на виправлення одиничних помилок, недостатньо одного контрольного розряду в двійковому представленні числових даних. Потрібно, щоб виконувалась наступна нерівність:

$$2^k \geq k + m + 1, \text{ або } k \geq \log_2(k + m + 1), \text{ де} \quad (3.1)$$

m – кількість основних двійкових розрядів кодового слова. Мінімальними значеннями k при заданих значеннях m , є відповідно значення наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Мінімальні значення контрольних розрядів при заданій кількості основних

Діапазон	k_{min}
1	2
2-4	3
5-11	4
12-26	5
27-57	6

Побудова коду Хемінга базується на принципі перевірки на парність певної кількості одиничних символів: до послідовності додається такий елемент, щоб кількість одиничних символів в отриманій послідовності було парним:

$$r_1 = i_1 \oplus i_2 \oplus \dots \oplus i_k \text{ де} \quad (3.2)$$

\oplus - сума по модулю 2.

При цьому:

$$S = i_1 \oplus i_2 \oplus \dots \oplus i_n = 0 \quad (3.3)$$

позначає відсутність помилки, а коли ж $S = 1$ – однократна помилка.

Даний тип кодування дозволяє отримати помилки читання даних, проте, він є не застосовним у випадку задачі відновлення втрачених даних в СОУ ГВС, оскільки потребує хоча б якогось зчитаного значення. Проте у випадку ІВС СОУ маємо повністю втрачений блок інформації. Даний тип кодування не враховує можливі залежності в послідовності потоку даних, де певний i -й блок залежить від $i - 1$ -го та впливає на $i + 1$ -й, що не дає можливості отримати втрачений блок даних.

Окрім того, в ІВС СОУ ГВС можуть передаватись великі масиви інформації, що ускладнює кодування, і значно збільшує надлишковість передачі необхідної інформації.

3.2.2. Код Ріда – Соломона

Код Ріда – Соломона представляє собою недвійковий циклічний код, що дозволяє виправляти помилки в цілих блоках даних. Таким чином даний тип кодування не має недоліків, що присутні в коді Хемінга, що був розглянутий в попередньому підрозділі.

Код Ріда – Соломона виправляє t помилок передачі даних, і потребує для цього $2t$ надлишкових символів для перевірки.

Виявлення помилки виконується за допомогою так званого синдромного декодера, який ділить кодове слово на многочлен, що його породжує. Якщо при діленні виникає остача, то в слові присутня помилка, якщо ні – блок дійшов до читача без помилок.

Загальну схему роботи кодування можна представити як зображено на рис. 3.2.

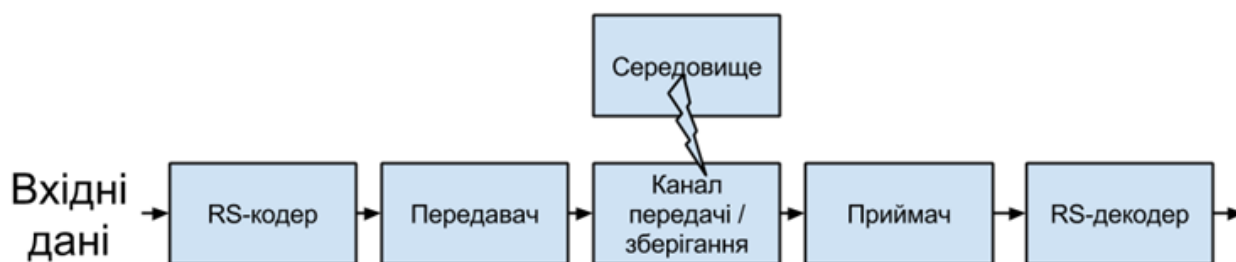


Рис. 3.2. Схема роботи алгоритму Ріда – Соломона.

Як бачимо зі схеми, RS-декодер виконує відновлення пошкоджених даних, закодованих за допомогою RS-кодера з використанням алгоритму Ріда – Соломона, пошкоджених під впливом деякого середовища під час передачі через канал даних, чи в процесі знаходження в деякому сховищі на зберіганні.

При цьому, хоча і код Ріда – Соломона, є більш зручним для кодування інформаційних потоків, що характерні для ІВС СОУ ГВС, ключова проблема, а саме неможливість відновлення повністю втраченого блоку даних все ж присутня.

3.2.3. Приховані марківські моделі

Приховані марківські моделі (ПММ) є одним з найбільш поширених математичних апаратів, що застосовуються при відновленні втрачених даних, які характеризуються своїм місцезнаходженням в послідовних ланцюжках.

Така характеристика даних повністю співпадає з природою даних, які складають основу інформаційних потоків ІВС СОУ ГВС. Окрім того, приховані марківські моделі, на відміну від розглянутих раніше кодів Хемінга та Ріда – Соломона не потребують надлишкових даних при передачі інформації, а натомість

використовуються інформацію про об'єкт, який стани і процеси якого моделюються цими даними [5, 6].

Приховані марківські моделі набули свого поширення в реалізації таких протоколів комунікації як GPRS та CDMA, а також в задачах штучного інтелекту, як, наприклад, задача розпізнавання голосу і конвертації його в текстове представлення.

Очевидно, що володіючи даними характеристиками, ПММ можуть бути досліджені на предмет застосування в задачах відновлення втрачених блоків даних ІВС СОУ ГВС.

Загальна структура ПММ може бути представлена як показано на рис. 3.3.

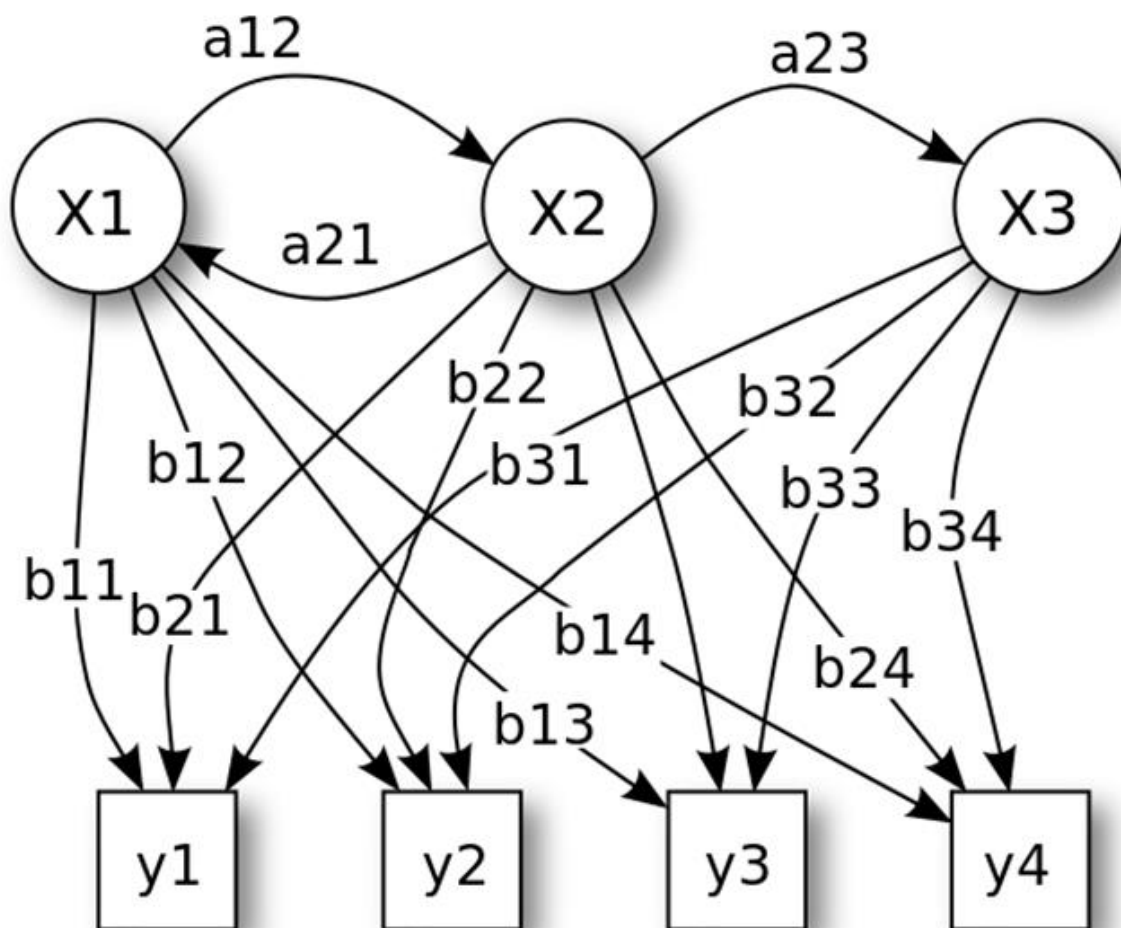


Рис. 3.3. Загальна структура ПММ. X – приховані стани моделі, Y – можливі події, що можна спостерігати, a – ймовірності переходів між станами, b – ймовірності виникнення подій.

Таким чином, прихована марківська модель складається з N прихованих станів x_i , що змінюються за деякі дискретні періоди часу $t = 0, t = 1, \dots$. З кожним новим періодом часу система перейде в наступний випадковий стан. З переходами між станами моделі, спостерігач може бачити деяку видиму подію з множини Y , а завдання вирішуються за допомогою вектору A , що задає ймовірності переходів між станами, та матриці B , що задає ймовірності виникнення спостережних подій в залежності від станів. При цьому відомий вектор π , що задає початковий розподіл станів, та деяка спостережна послідовність подій $O = (O_0, O_1, \dots, O_{T-1})$, де T – задана довжина ланцюжка подій, що спостерігається (рис 3.4)

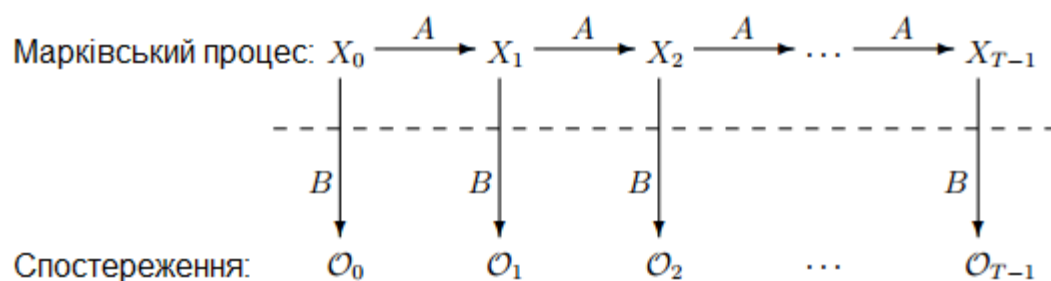


Рис. 3.4. Представлення зміни станів та подій, що спостерігаються в ПММ.

ПММ здатна виконувати роль імітаційної моделі ГВС, тобто може застосовуватись в якості компонента ІВС СОУ ГВС, адже підтримує семантику станів та переходів, хоча, на відміну від тих де СП має не детерміновану, а стохастичну природу [31, 34, 83, 94].

Виходячи із своїх характеристик, очевидно, що дана модель може бути використана в задачі підвищення надійності СОУ ГВС через свої властивості відновлювати блоки втрачених даних в ланцюжках (відновлювати інформацію про стани системи за ланцюжками спостережних подій в термінах ПММ).

3.3. Розробка імітаційної моделі виробничого процесу СОУ ГВС на базі апарату прихованих марківських моделей

В даній дисертаційній роботі пропонується підхід до моделювання надійності роботи ГВС на базі апарату прихованих марківських моделей (ПММ), що не є класичним з точки зору теорії надійності технічних систем, де такі моделі, зазвичай, будуються на базі структурних та функціональних карт надійності.

Приховані марківські моделі успішно застосовуються в різних галузях науки і техніки, де є потреба у відновленні зашумлених послідовностей даних. Поломки датчиків, а також засобів передачі даних ІП ГВС призводять до того, що імітаційна модель не може бути достовірною за відсутністю необхідної актуальної інформації про стан виробництва, окрім випадку, коли така модель уміє опрацьовувати нештатні ситуації описаного характеру.

Приховані марківські моделі успішно застосовуються в задачах розпізнавання голосу, при корекції сигналів в телекомунікаційних мережах тощо. Проте важливою відмінністю вказаних застосувань від поточної задачі моделювання виробництва є те, що в них послідовність подій є марківською. В даній роботі розглядається саме такий випадок.

Модель повинна бути стійкою до роботи в умовах невизначеностей, тобто враховувати втрати інформації з ІП СОУ ГВС з можливістю їх відновлення хоча б за певний встановлений проміжок часу.

Кожна ГВС складається з компонентів, до яких відносять гнучкі виробничі модулі (оброблюючі ресурси), автоматизовані транспортні модулі, автоматизовані модулі контролю якості, автоматизовані склади, та ін. Для прикладу, на рис. 1 зображена гнучка автоматизована ділянка (ГАД) ГВС з двома ГВМ та конвеєром.

Варто зазначити, що в задачах вивчення проблем надійності виробничих систем відомі застосування напівмарківських моделей, проте основними напрямками попередніх досліджень були самовідновлювані системи з застосованим

в структурним резервуванням [72, 74, 50].

В даній роботі пропонується застосування прихованих марківських моделей (ПММ) як самодостатній механізм відновлення втрачених в процесі роботи обладнання ІВС СОУ ГВС даних в парі з застосуванням часового резервування.

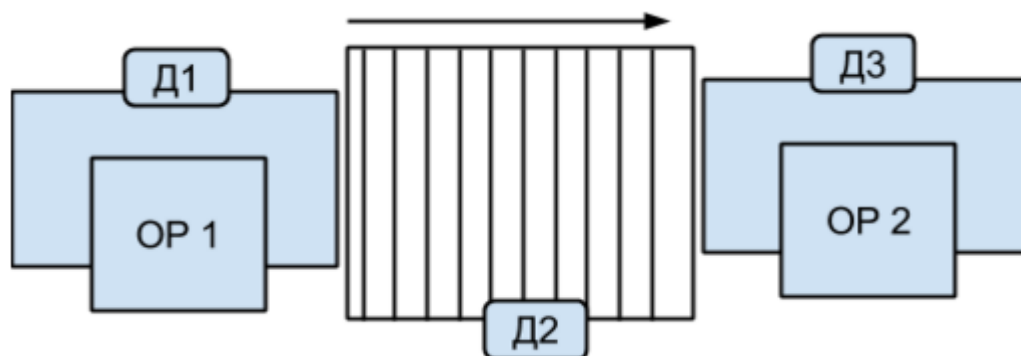


Рис. 3.5 Ділянка ГВС, що містить два оброблюючих ресурса (ОР1, ОР2) та конвеєр, оснащені датчиками (Д1, Д2, Д3)

Для повноцінної роботи СОУ ГВС з синхронною моделлю кожен з цих модулів оснащується датчиками (рис. 3.5), що сигналізують про їх перебування в певному стані, а деякі з них можуть мати також вбудовані датчики. Кожен з цих датчиків може виходити з ладу, що призведе до втрати даних і неможливості роботи імітаційної моделі СОУ ГВС, чим і зумовлені вищенаведені вимоги до математичної моделі.

Як вже було зазначено, побудова ПММ в масштабах виробничої системи, чи навіть виробничої ділянки, є недоцільною, а активація моделі в СОУ відбуватиметься в момент, коли була виявлена нештатна ситуація (НС), а сама модель будуватиметься лише для компонента системи, в якому ця ситуація відбулась.

Таким чином, розглянемо подання компонента виробничої системи як прихованої марківської моделі у загальному вигляді:

$$\lambda = (S, \Omega, \pi, A, B) \quad (3.4)$$

Тут модель визначена на множині станів компонента виробничої системи S та множині видимих подій Ω . Початкові ймовірності знаходження компонента в

певному стані задані вектором π . Останні два параметри моделі – матриця ймовірностей переходу компонента між станами внаслідок виникнення деякої події з послідовності подій Q :

$$A = [a_{ij}], a_{ij} = (q_t = s_j | q_{t-1} = s_i), \quad (3.5)$$

де a_{ij} – ймовірність переходу компонента зі стану s_i в стан s_j , q_t – подія з послідовності подій Q .

Матриця ймовірностей спостереження видимої події при знаходженні системи в певному стані:

$$B = [b_i(k)], b_i(k) = P(x_t = v_k | q_t = s_i), \quad (3.6)$$

де v_k – ймовірність виникнення події при знаходженні системи в стані s_i . Важливим моментом є те, що ці ймовірності задаються як незалежні від часу для обох матриць.

Розглянемо зміст кожного з елементів ПММ, перейшовши, таким чином, від загального вигляду до конкретної моделі компонента ГВС:

- **Набір станів S .** Підбирається індивідуально в залежності від оснащення відповідного компонента ГВС сенсорами, що дають можливість фіксувати ці стани. До цього також варто додати ще один стан s_f – стан нештатної ситуації, при якому обладнання нездатне виконувати свої функції в рамках технологічного процесу, тобто маємо множину з $N + 1$ станів:

$$s = \{s_1, \dots, s_i, \dots, s_N, s_f\}, i = 1..N \quad (3.7)$$

- **Початковий вектор π .** Відповідає стану системи в момент початку моделювання, тобто містить розподіл ймовірностей перебування компонента системи в певному стані з урахуванням точно відомого останнього стану обладнання, зафіксованого сенсором:

$$\pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i, \dots, \pi_n, \pi_f\}, i = 1..N, \quad (3.8)$$

де π_i – ймовірність перебування модельованого компонента в деякому стані s_i .

Очевидно, що даний вектор міститиме N нульових елементів та один елемент зі значенням 1.

• **Множина видимих подій Ω .** Формується за рахунок достовірних даних отриманих за допомогою сенсорів з обладнання, що приймає участь в виконанні наступної операції в технологічному ланцюжку операцій виробу (рис. 3.6).

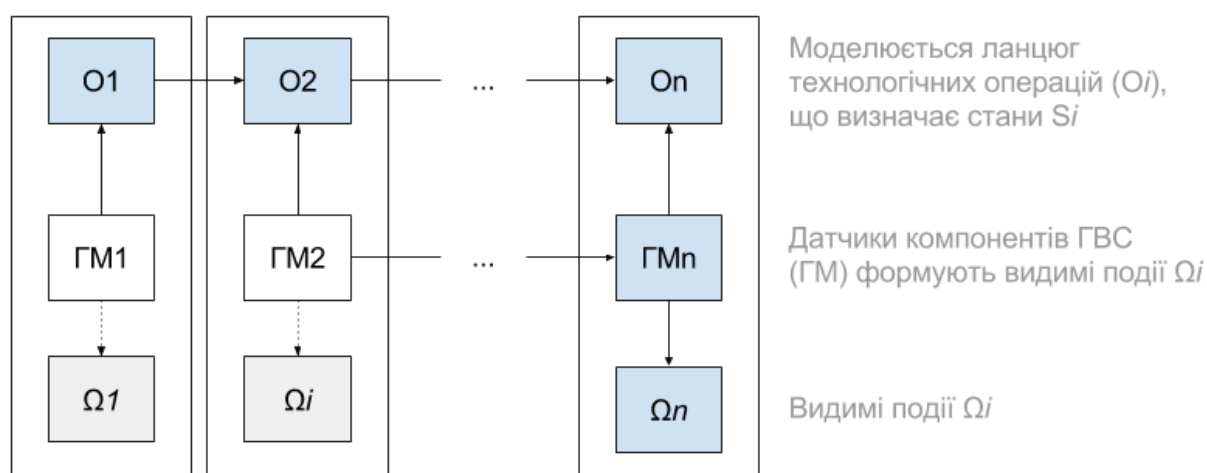


Рис. 3.6. Ланцюжок технологічних операцій та обладнання ГВС, що показує залежність видимих подій Ω_i від станів S_i .

• **Матриця A ймовірностей переходів між станами (2).** Формується на базі інформації про етапи виконання обладнанням технологічних операцій, що отримується з сенсорів.

Оскільки, ми маємо справу з параметрами надійності, на подані ймовірності впливатимуть параметри надійності компонентів ГВС: ймовірність $F(t)$ виходу з ладу компонента в певний момент часу

$$F(t) = (t - T_p)/T_{cp} \quad (3.9)$$

де T_p – час виникнення попередньої відмови, а T_{cp} – середній час напрацювання на відмову, що залежить від закону розподілу інтенсивності відмов [2].

Як бачимо, характеристика надійності обладнання є величиною залежною від

часу, а тому й комірки матриці міститимуть залежні від часу значення, що йде в розріз з класичною моделлю ПММ.

Для того, щоб нівелювати таку залежність, розділимо модель на R етапів роботи, провівши квантування значень матриці в залежності від закону розподілу інтенсивності відмов, по часу, на весь період роботи обладнання від першого запуску до вилучення з виробництва. Таким чином, отримаємо значення для робочих станів:

$$a_{ij}^{\tau} = a_{ij} \cdot \sum_{j=1..N} a_{ij} - F(t) = a_{ij} \cdot (1 - F(t)), \quad (3.10)$$

де $\tau = 1..R$ – відповідний етап роботи модельованого обладнання в залежності від закону розподілу інтенсивності відмов, a_{ij} – значення матриці ймовірності переходів обладнання між станами без урахування характеристик надійності обладнання, а t – поточний час роботи обладнання з моменту початку експлуатації.

Фізичним змістом даної залежності є зростання ймовірності виникнення НС з часом роботи обладнання, що веде за собою зменшення ймовірностей переходів між працездатними станами.

Для прикладу, дану матрицю при моделюванні надійності роботи фрезерного станка можна змінювати один раз на день, таким чином враховуючи закон розподілу інтенсивності відмов.

В кінцевому варіанті в деякий дискретний період τ , враховуючи також НС, матриця для всіх станів компонента ГВС виглядатиме як подано нижче (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 Матриця A^{τ} ймовірностей переходів компонента ГВС між станами

A^{τ}	a_1	a_2	...	a_f
a_1	$a_{11} \cdot (1 - F(t))$	$a_{12} \cdot (1 - F(t))$	...	$F(t)$
a_2	$a_{21} \cdot (1 - F(t))$	$a_{22} \cdot (1 - F(t))$	...	$F(t)$
...	...	...	...	$F(t)$

a_f	0	0	0	1
-------	---	---	---	---

• **Матриця B ймовірностей виникнення видимих подій (3).** Формується, як і вектор видимих подій Ω , на базі інформації про ланцюжки технологічних операцій і обладнання, що їх виконує, окремо для кожного модельованого компонента ГВС. Особливістю даної матриці є те, що при відсутності НС, для кожного окремого технологічного ланцюжка операцій, ймовірності будуть приймати значення 0 чи 1, тобто залежності є повністю детермінованими.

Цей факт дає можливим приймати висновки про реальний стан, в якому знаходиться модельоване обладнання, навіть якщо з певних причин сенсори цього обладнання не надають такої інформації, а сама матриця матиме наступний вигляд (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6

Матриця B ймовірностей спостереження видимих подій

B	1	2	...	k
s_1	$b_1(1)$	$b_1(2)$	...	$b_1(k)$
s_2	$b_2(1)$	$b_2(2)$	...	$b_2(k)$
...
s_f	0	0	0	0

Побудована ПММ компонента ГВС є складовою комплексу заходів з підвищення надійності оперативного управління ГВС. Сама модель відображає послідовність подій (процес) роботи компонента, враховуючи ймовірність виникнення НС.

Характеристики апарату ПММ як такого дозволяють застосовувати алгоритми, здатні відновити найбільш ймовірну послідовність дій технологічного обладнання при втратах інформації з сенсорів ІП СОУ ГВС.

В даній роботі розглядається модель в загальному вигляді, а також неявно розглянута ситуація, коли втрачається інформація лише з одного сенсора i , хоча, це покриває абсолютну більшість випадків, варто також в подальшому розглядати не лише сенсори зокрема, а й цілі гілки ІІ СОУ ГВС, що i є завданням для подальших досліджень.

Ще одним застереженням є те, що спосіб формування матриці B , описаний в даній роботі актуальний тільки для виробничих ліній без розгалуженої структури i , хоча, в мілкосерійному виробництві такі зустрічаються найчастіше, варто також розглянути i розгалужені структури технологічних ланцюжків.

Завдяки отриманій моделі ходу виробничого процесу, можна розпочати запуск процесу відновлення втрачених даних, що у випадку застосування ПММ виконується за допомогою алгоритму Вітербі, який можна подати наступним чином у вигляді псевдокоду:

```

function VITERBI(  $O, S, \pi, Y, A, B$  ) :  $X$ 
  for each state  $s_i$  do
     $T_1[i,1] \leftarrow \pi_i \cdot B_{iy1}$ 
     $T_2[i,1] \leftarrow 0$ 
  end for
  for  $i \leftarrow 2, 3, \dots, T$  do
    for each state  $s_j$  do
       $T_1[i,j] \leftarrow \max_k(T_1[k,i-1] \cdot A_{kj})$ 
       $T_1[i,j] \leftarrow (T_1[j,i] \cdot B_{iy1})$ 
       $T_1[i,j] \leftarrow \arg \max_k(T_1[k,i-1] \cdot A_{kj})$ 
    end for
  end for
   $z_t \leftarrow \arg \max_k(T_1[k,T])$ 
   $x_T \leftarrow s_{z_T}$ 
  for  $i \leftarrow T, T-1, \dots, 2$  do
     $z_{i-1} \leftarrow T_2[z_i, i]$ 
     $x_{i-1} \leftarrow s_{z_{i-1}}$ 
  end for
  return  $X$ 
end function

```

Час, необхідний для виконання алгоритму, повинен бути в межах застосованого

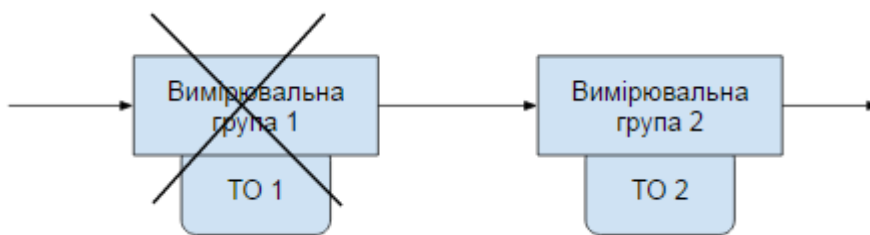
часового резервування для виробничого модуля, стан якого фіксує вимірювальна група ІВС СОУ ГВС. Даний алгоритм дозволяє відновити послідовність подій з максимально можливою ймовірністю.

Для визначення необхідного резервного часу слід також розглянути розміщення вимірювальної групи, що вийшла з ладу в ланцюжку технологічних операцій виробничого процесу.

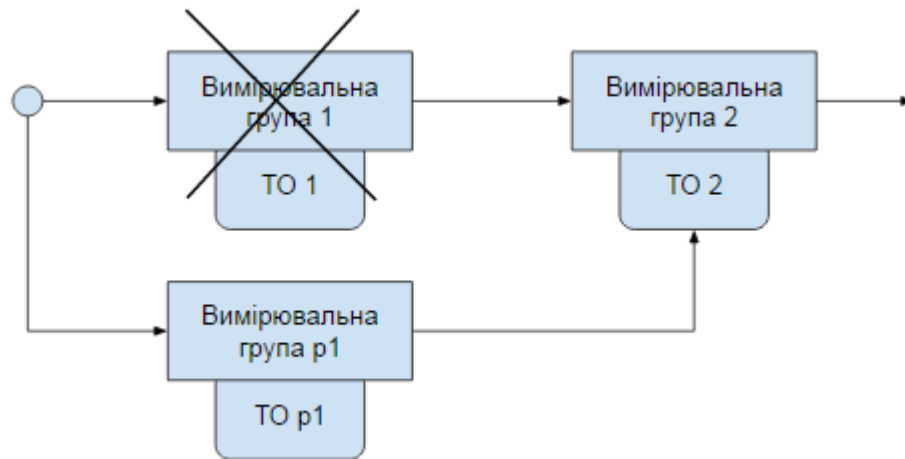
3.4. Умови застосування методу ПММ до підвищення надійності роботи СОУ ГВС

Розглянемо детальніше, як впливає структура компоновки ІВС СОУ ГВС в аспекті місцезнаходження компонента, що вийшов з ладу. Тут можливі наступні випадки:

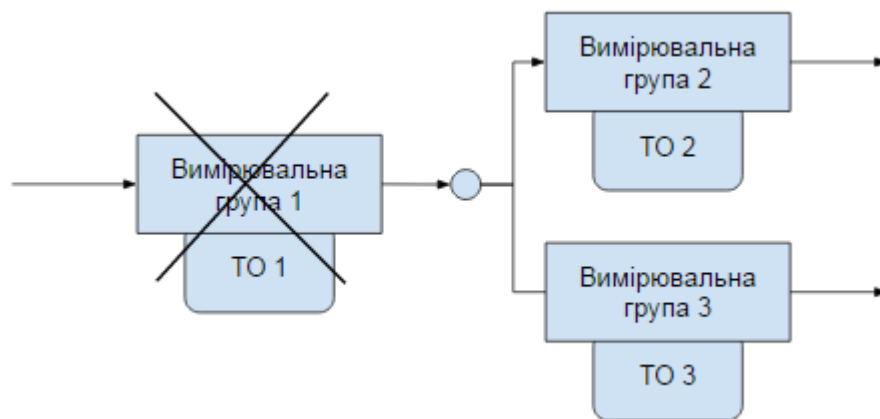
– вихід з ладу вимірювальної групи компонентів без структурного резервування і подальшого розгалуження в ході виробничого процесу (наприклад, можливості транспортування на декілька виробничих модулів); в даному випадку поведінка така ж, як описано в попередньому підрозділі;



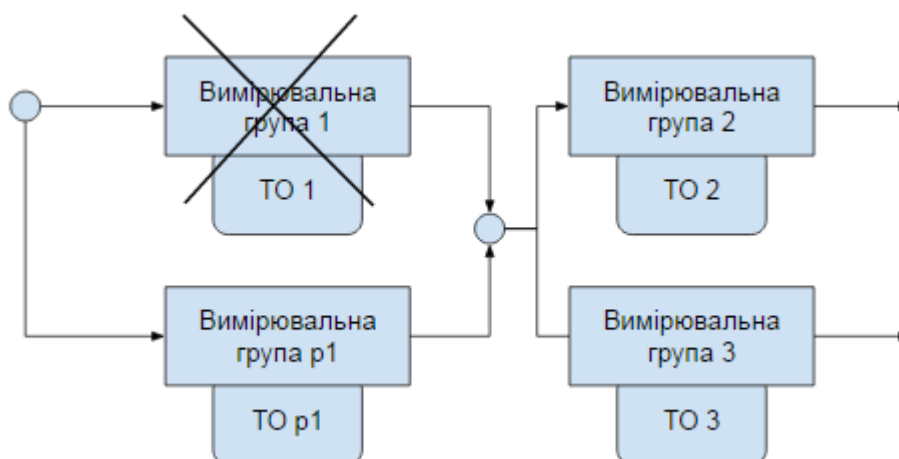
– вихід з ладу вимірювальної групи компонентів зі структурним заміщенням із навантаження, та без подальшого розгалуження; тривалість необхідного часового резервування зростає за рахунок падіння ймовірності визначення події для кожної деталі в паралельних ланцюжках технологічних операцій.



– вихід з ладу вимірювальної групи компонентів без структурного резервування та з розгалуженням ходу виробничого процесу; в залежності від ширини розгалуження (кількості ймовірних одиниць технологічного обладнання, що виконуватиме наступну деталеоперацію над об'єктом незакінченого виробництва), ймовірність настання наступної з можливих подій знизиться пропорційно. Таким чином, відбудеться подовження послідовності подій до можливості визначення настання певної події в ланцюжку технологічних операцій з ймовірністю 1. Відповідно тривалість необхідного часового резервування зростає.



– вихід з ладу вимірювальної групи компонентів зі структурним резервуванням та подальшим розгалуженням; аналогічно попереднім двом схемам розміщення вимірювальної групи, що, ймовірно, вийшла з ладу, при роботі інформаційного резервування за допомогою ПММ, зростає тривалість необхідного часового резервування.



Подаючи модель ГВС у вигляді ПММ, недоотримувана інформація представляється у вигляді невидимих змінних (подій), що впливають на поточний стан ГВС, а отримана інформація – у вигляді видимих подій, про які існує інформація, що вони відбулись. Існують алгоритми, побудовані на базі ПММ, що використовуються для відновлення інформації в ланцюжках подій (наприклад, алгоритм Вітербі), і такі алгоритми можна застосувати в контексті поставленої задачі для часткового чи повного відновлення втраченої інформації.

Введення ПММ як дублюючої моделі процесу виробництва забезпечить ідентифікацію стану ГВС з певною долею ймовірності, при чому, чим менший проміжок часу система проведе з неробочими компонентами, тим точніші дані про події можна отримати, інколи достовірні.

Таким чином, пропонується розширити модель СОУ ГВС подану в першому розділі даної роботи ПММ – компонентом в одному з трьох варіантів (рис. 3.7 – 3.9).

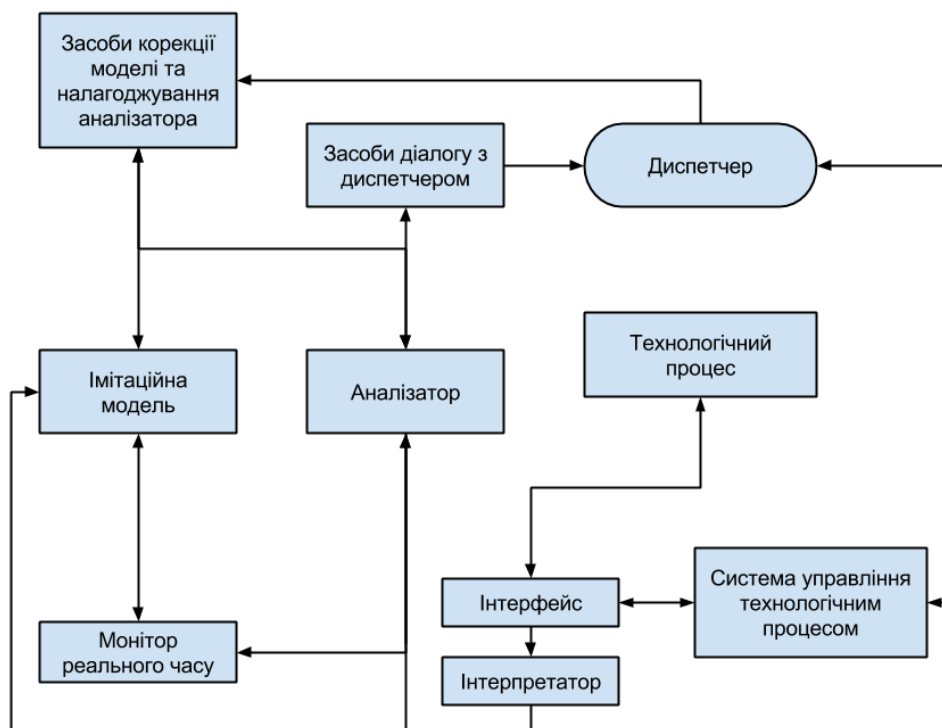


Рис. 3.7. Модифікована СОУ ГВС з модифікованою синхронною моделлю.

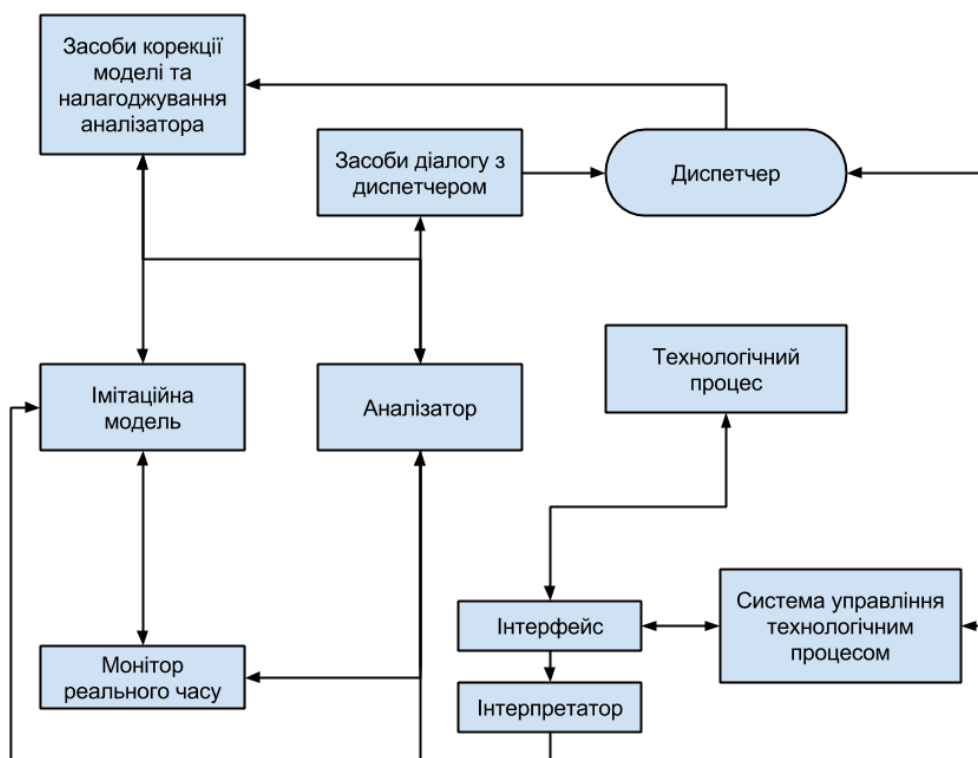


Рис. 3.8. Модифікована СОУ ГВС з модифікованим блоком корекції.

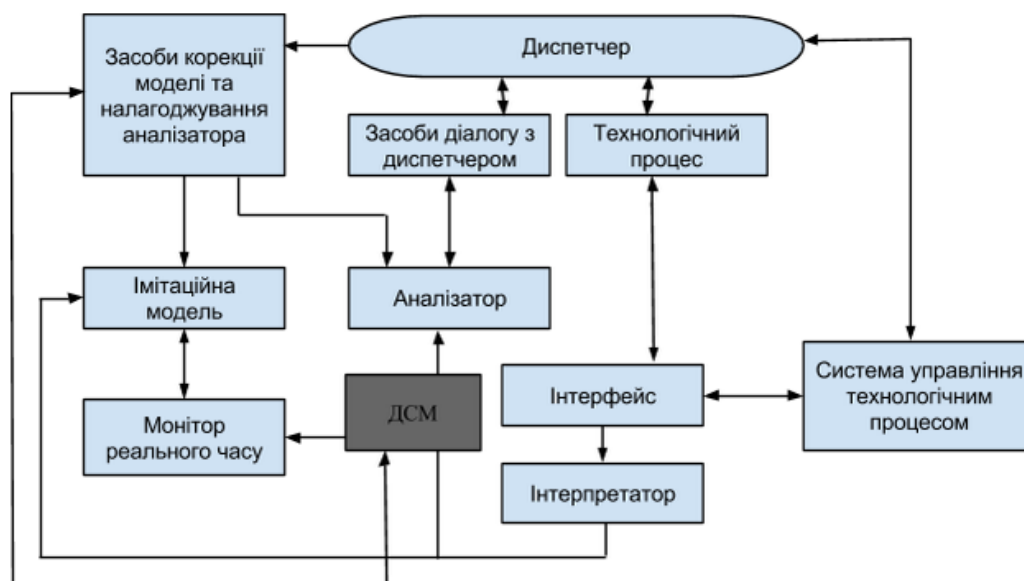


Рис. 3.9. Модифікована СОУ ГВС з додатковою синхронною моделлю.

Введення ПММ моделі системи дозволить частково чи повністю відновлювати інформацію про стан ГВС чи її ділянок в реальному часі. Таким чином, СОУ ГВС може експлуатуватись навіть в режимі виникнення позаштатних ситуацій аж до моменту закінчення ремонтних робіт.

Як уже було зазначено, розроблений та поданий в попередньому підрозділі спосіб інформаційного резервування не завжди можна застосувати з отриманням підвищення надійності, а приймати рішення про те, чи вийшов з ладу саме датчик, чи технологічне обладнання, до якого він закріплений, слід із врахуванням показників надійності технологічного обладнання, що забезпечує виробничий процес.

Для розв'язання поставленої задачі слід провести визначення наявності нештатної ситуації, що могла виникнути на технологічному обладнанні ГВС, тобто потрібно обчислити ймовірність виходу з ладу конкретного ТО, інформацію про яке

в конкретний момент часу опрацьовує імітаційна модель в ситуації, коли пов'язаний з моніторингом за цим ТО датчик виходить з ладу.

Для визначення ймовірності виходу з ладу технологічного обладнання $F(t) = P(T \leq t)$ (де t – час, за який відбувається показник надійності, T – момент часу, в який виникає відмова) в кожен конкретний момент часу, потрібно знайти наступне відношення:

$$F(t) = \frac{t - T_p}{T_{cp}} \quad (3.11)$$

де T_p – час виникнення попередньої відмови, T_{cp} – середній час напрацювання на відмову.

Необхідними вхідними даними для визначення цієї величини є:

1. Період роботи ТО: припрацювання, нормальна експлуатація, старіння та знос.
2. Час виникнення попередньої відмови T_p .
3. Параметри законів інтенсивності відмов (t) Вейбулла (0 – масштаб, k – асиметрія), та Релея (r – параметр розподілу) для кожного ТО виробництва.

Тому, T_{cp} , в залежності від періоду роботи технологічного обладнання, визначається як $T_{cp} = \frac{\Gamma(\frac{1}{k}+1)}{\lambda_0^{\frac{1}{k}}}$ де Γ – гамма-функція, для періоду припрацювання,

$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_0}$ для періоду нормальної експлуатації, та $T_{cp} = 1.253 \cdot r$ для періоду старіння та зносу.

Знаючи значення T_p для кожного ТО, а також, підставивши одну з формул визначення T_{cp} в формулу (3.11), отримаємо ймовірність виходу з ладу конкретного технологічного обладнання в заданий момент часу.

Основою роботи ДСМ є формування управляючих впливів на імітаційну модель СОУ з ціллю уникнення явища розсинхронізації виробництва та моделі виробництва в зв'язку з виходом з ладу обладнання ІП ГВС (рис. 3.10).

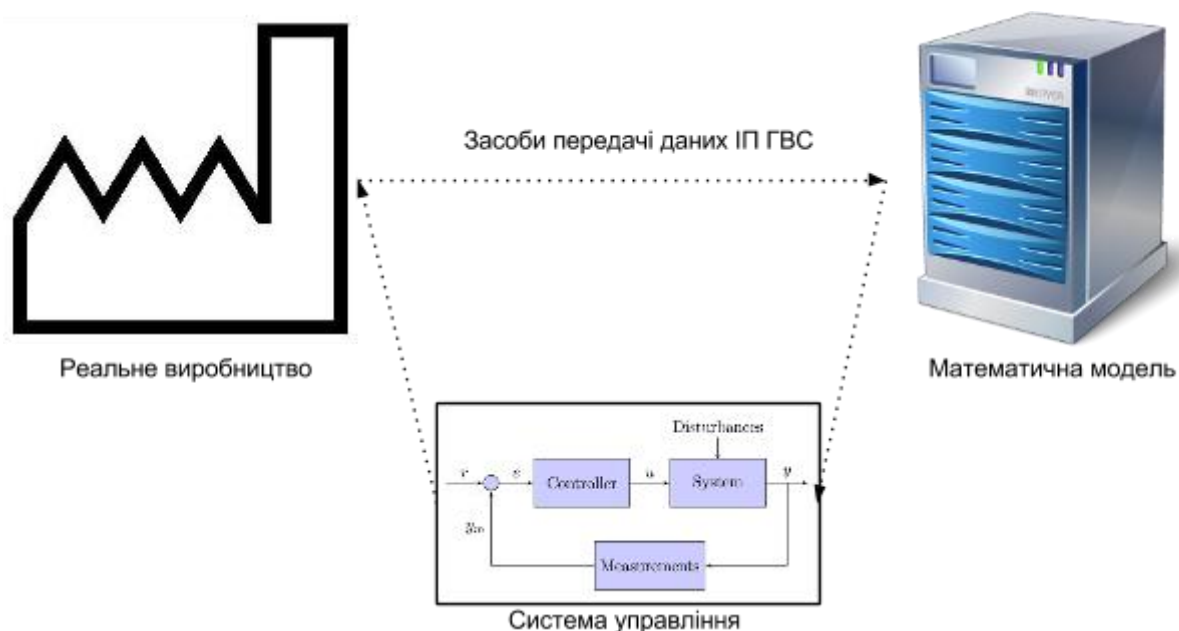


Рис. 3.10. Взаємозалежність залежність моделі виробництва та реального виробництва.

Оскільки, при виникненні відмов в роботі компонентів ІВС СОУ ГВС, інформація про стан конкретної одиниці ТО, що відслідковується, повністю або частково відсутня, необхідно скористатись ймовірнісними характеристиками обладнання в певний конкретний момент часу, а також інформацією про наявність обладнання контролю якості безпосередньо на виході продукції з ТО.

Оскільки, імітаційна система є дискретною, на підставі існуючої інформації, можна побудувати наступну систему прийняття рішень на базі апарату продукційних правил для кожного конкретного ТО (рис. 3.11).

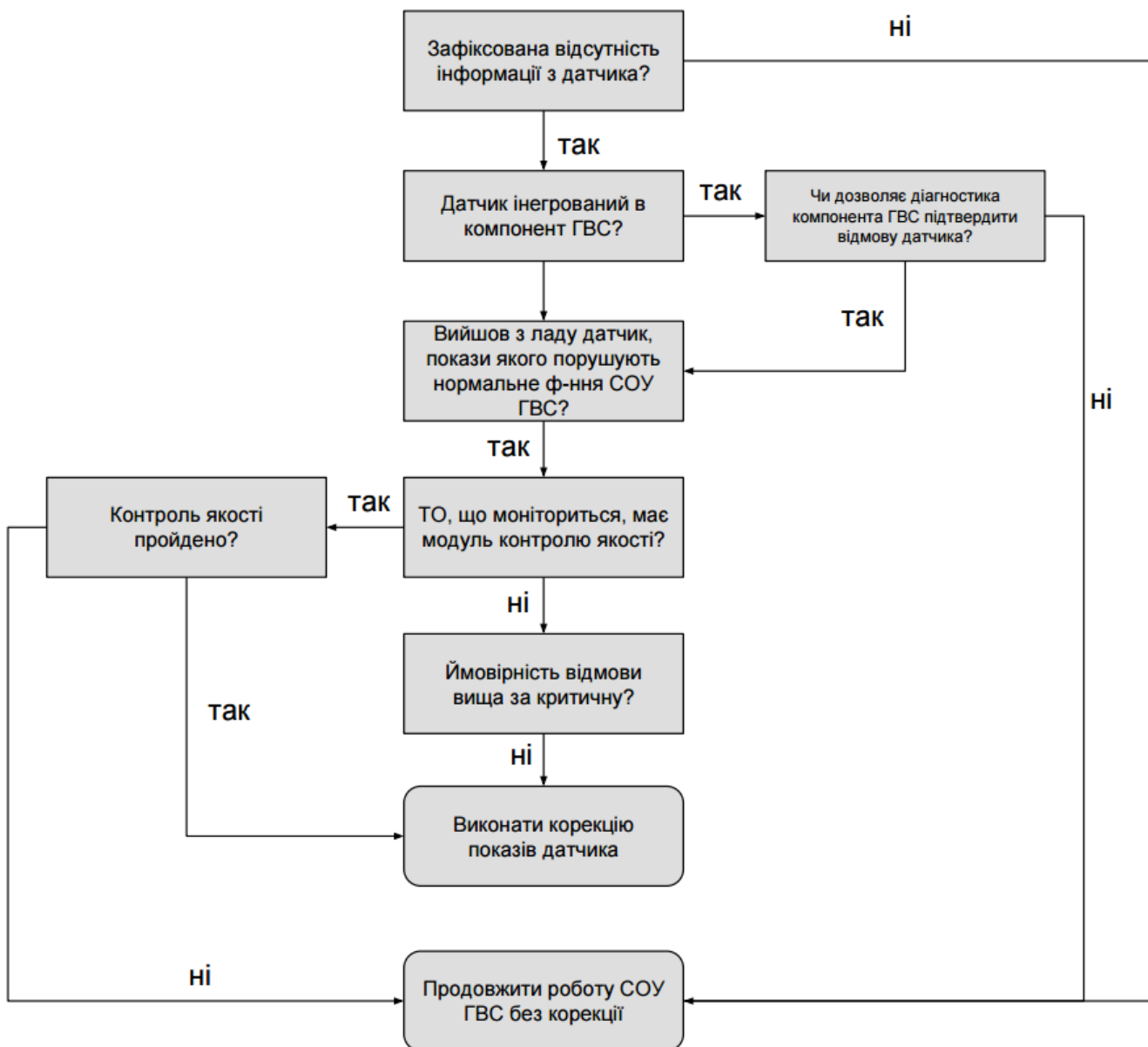


Рис. 3.11. Продукційні правила прийняття рішення генерації коригуючих впливів
ПММ

3.5. Висновки до третього розділу

1. Вперше запропонований спосіб інформаційного резервування на базі прихованої марківської моделі виробничого процесу як імітаційної моделі СОУ ГВС з синхронною моделлю, що дозволяє підвищувати надійність роботи СОУ ГВС через підвищення надійності компонентів ІВС СОУ ГВС шляхом відновлення інформації про проходження ланцюжків технологічних операцій виробничого процесу.

2. Розроблений спосіб перерахунку ймовірності безвідмовної роботи ІВС СОУ ГВС як інтегрального показника з урахуванням застосування розробленого способу інформаційного резервування.

3. Розроблені продукційні правила щодо застосування запропонованого способу інформаційного резервування з урахуванням фізичного втілення вимірювальних груп ІВС СОУ ГВС, а також застосування часового та структурного типів резервування.

4. Запропонований спосіб прийняття рішень про зупинку ходу виробничого процесу на базі співставлення отриманих ймовірностей відновленого ланцюжка детале-операцій та показника ймовірності безвідмовної роботи самого технологічного обладнання ГВС.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ІМІТАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПІДХОДУ ДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ІВС СОУ ГВС

4.1. Вибір засобів імітаційного моделювання

Розробка програмних комплексів, що автоматизують процеси моделювання та аналізу систем на сьогоднішній день є складною та задачею. Це пов'язано з постійним підвищенням вимог до надійності систем автоматичного управління. При вирішенні цієї проблеми використовуються сучасні технології математичного моделювання неперервних та дискретних процесів. Деякі сучасні обчислювальні системи моделювання мають можливість спеціалізувати та досліджувати неперервно-дискретні системи, будуючи їх з базових неперервних-дискретних елементів або описуючи їх поведінку безпосередньо на мові реалізації. В більшості з них можливе моделювання неперервно-дискретних систем з фіксованою структурою, фіксованою поведінкою та з розривами в значеннях певних параметрів (пакет моделювання Simulink, система моделювання складних вбудованих систем управління VisSim).

Будь-яка модель є гомоморфною по своїй сутті, так як вона відтворює тільки деякі аспекти системи, враховує тільки частину факторів і визначає тільки деякі її властивості. Це обумовлене тим, що врахування усього обсягу системи є надзвичайно важкою задачею, майже неможливою, і не є доцільним, так як далеко не всі фактори вносять суттєві зміни у систему, а врахування їх тільки ускладнить нашу модель. Повної подібності між системою-оригіналом та змодельованою системою бути не може, так як це вже не модель системи, а сама система.

Розглянуті системи є динамічними, тобто змінюються в часі. Тому стан системи, властивості об'єкта і число активних об'єктів, параметрів, дій і затримок – функції часу, які постійно змінюються в процесі моделювання. У процесі моделювання збирається статистична інформація про роботу моделі під час кожного просування модельного часу. Це можуть бути відомості про довжину черги, час

перебування в черзі та пристрої для обслуговування, завантаження або стан пристрою тощо.

Основною ціллю моделювання є формування суджень про об'єкт, не звертаючись до нього самого. Під об'єктом розуміється спрощений аналог об'єкту-оригіналу, схожому з ним за деякими властивостями.

Як вже зазначалося раніше, моделювання є особливо актуальним для складних систем, якими є більшість існуючих виробничих систем.

Необхідність моделювання складних систем можна обґрунтувати наступним:

3. Складність системи полягає в тому, що представити результати її функціонування наявно або за допомогою простих обрахунків неможливе.

4. Відсутність системи на стадії створення або недоступність її аналогів унеможливорює натуральний експеримент.

5. Висока вартість системи, навіть якщо вона вже існує, роблять експеримент і метод «спроб та помилок» неприйнятним.

6. Унікальність кожної системи роблять чужий або власний попередній досвід малоприменим.

Також слід зазначити, що до основних ознак складної системи можна віднести наступне:

1. Велика розмірність (велика кількість елементів та зв'язків між ними);

2. Багатогранність - зв'язки різного виду, багато аспектів, факторів та параметрів.

3. Взаємопов'язаність - видалення будь-якої частини системи веде до зміни властивостей системи у цілому,

4. Цілеспрямованість - підпорядкування локальних цілей елементів глобальній цілі усієї системи.

5. Емандмертність - властивості системи не зводяться до суми всіх властивостей її елементів, тобто на рівні системи виникає нова властивість.

6. Розвиток в часі - змінюваність, не стійкість (гомеостаз).

7. Невизначеність - наявність випадкових подій і величин.

8. Організаційність - частина функції виконується людьми (людський фактор).

Основним видом моделювання систем є математичне моделювання, так як воно саме доступне, універсальне, не трудомістке і економічне.

Основними стримуючими факторами використання математичного моделювання можна вважати наступне:

- в нас часто не вистачає об'єктивних знань про об'єкт;
- навіть те, що ми знаємо, не завжди можна формалізувати;
- необхідна спеціальна математична підготовка;
- не повна довіра до результатів, так як надійні методи перевірки адекватності поза практики відсутні.

В залежності від аспекту, що аналізується, системи моделі діляться на:

- моделі властивостей;
- моделі структури;
- моделі функціонування.

Моделі функціонування самі складні, так як уже містять в собі моделі властивостей та структури, але додатково враховують ще й динаміку. Разом з тим вони є самими корисними, так як відображають кінцевий результат.

Саме по цій причині для нашого моделювання нас будуть цікавити моделі функціонування.

Моделі функціонування діляться на аналітичні та імітаційні.

Аналітичне моделювання ґрунтується на непрямому описі об'єкта формулами. Прямих аналогів елементів, зв'язків і процесів в моделі нема.

Імітаційне ж моделювання ґрунтується на прямому описі елементів об'єкта і безпосередньо відтворює процес його функціонування. В результаті ми отримуємо збір статистики по ходу моделювання.

Імітаційне моделювання в загальному випадку є більш точним, детальним і інформативним, а аналітичне - менш трудомістким, з більшою наглядністю залежностей і кращої пристосованістю до оптимізації.

На відміну від аналітичного імітаційне моделювання знімає більшість обмежень, пов'язаних з можливістю відображення в моделях реального процесу функціонування системи, яку досліджують, динамічної взаємної обумовленості поточних і наступних подій, комплексного взаємозв'язку між параметрами і показниками ефективності системи тощо. Хоч імітаційні моделі в деяких випадках не такі лаконічні, як аналітичні, проте вони можуть бути як завгодно близькими до системи, яку моделюють, і простими у використанні. Це дає змогу застосовувати імітаційне моделювання як універсальний підхід для прийняття рішень в умовах невизначеності, враховуючи в моделях навіть ті чинники, які важко формалізувати, а також використовувати головні принципи системного підходу для розв'язування практичних задач. Імітаційні моделі описують об'єкт дослідження деякою мовою, імітуючи елементарні явища, з яких складається функціонування системи, зі збереженням їхньої логічної структури, послідовності протікання у часі, особливостей і складу інформації про стан процесу. Зазначимо про наявність аналогії між дослідженням процесів методом імітаційного моделювання та їхнім експериментальним дослідженням.

Описи компонентів реальної системи в імітаційній моделі мають певний логіко-математичний характер і є сукупністю алгоритмів, які імітують функціонування цієї системи. Програма моделі, побудована на основі цих алгоритмів, дає змогу звести імітаційне моделювання до проведення експериментів на ЕОМ шляхом їхнього „прогону” на деякій множині вхідних даних, які імітують первинні події, що відбуваються в системі. Інформація, яка фіксується у процесі дослідження імітаційної моделі, дає змогу визначити потрібні показники, що характеризують ефективність системи, яку досліджують.

Мовою моделювання може слугувати GPSS (General Purpose Simulating System), що використовується для побудови дискретних моделей і проведення моделювання на ЕОМ.

Моделі систем на GPSS можуть бути записані у вигляді блок-схеми або представлені як послідовність строк програми. Блок-схема представляє собою набір фігур з характерним нарисом блоків мови GPSS, що поєднуються лініями. Блок представляють собою програми, реалізовані засобами макроасемблера. Мова моделювання містить 37 блоків для створення імітаційного моделювання програм.

Мова програмування GPSS представляють собою мову і транслятор одночасно. Як кожна мова вона містить словник і граматику, за допомогою яких можуть бути розроблені моделі систем певного типу. Транслятор мови побудований як компілятор-інтерпретатор і працює в дві фази. На першій фазі компіляції перевіряється синтаксис і семантика написаних строк GPSS-програми, а на другому - інтерпретації, здійснюється рух транзактів по моделі від блоку до блоку.

Транзакти - динамічні елементи GPSS-моделі, елементи, що пересуваються від блоку до блоку в заданому напрямку.

Основною цінністю імітаційного моделювання є те, що в його основі лежить методологія системного аналізу. Вона дозволяє провести дослідження проектованої та аналізованої системи по схемі операційного аналізу, що включає в себе взаємопов'язані етапи: змістовна постановка задачі, розробка концептуальної моделі, розробка і програмна реалізація імітаційного моделювання, планування і проведення експериментів, прийняття рішень.

Проте, імітаційним моделям властиві деякі недоліки:

- результати, отримані за їх допомогою, являють собою не що інше, як поодинокі випадки розвитку модельованого об'єкта. Отже, всі висновки та твердження, зроблені на їх підґрунті, мають евристичний характер і в певних випадках можуть суттєво спотворювати дійсний стан речей;

- у багатьох випадках отримання оцінок стосовно до ступеня наближення (чи невідповідності) між імітаційною моделлю (результатами імітаційного моделювання) і функціонуванням реального об'єкта виявляються проблематичними;
- здебільшого в основу процесу імітації покладено деякий статистичний експеримент, у ході якого використовуються генератори псевдовипадкових величин. Похибки, що об'єктивно притаманні таким генераторам, можуть істотно перекирувати результати, отримані в ході імітаційного моделювання.

До імітаційних систем також можна віднести наступні пакети для моделювання неперервно-дискретних систем: TESS, пакет моделювання Model Vision for Windows, програмний комплекс автоматичного проектування складних інтегрованих систем IBM Statemate, технологічний комплекс моделювання та аналізу інтегрованих систем на базі об'єктно-орієнтованого підходу IBM Rational Rhapsody, систему автоматичної верифікації та моделювання NuTech, універсальний продукт для імітаційного моделювання, візуалізації і оптимізації промислових систем та процесів eM-Plant та багато інших. Зазначені обчислювальні комплекси використовують два основних підходи для дослідження неперервно-дискретних систем: представлення поведінки системи як послідовності класичних динамічних систем та використання методів моделювання та аналізу дискретних процесів. Таким чином, на даний момент не існує підходу до моделювання и аналізу неперервно-дискретних систем, в якому б поєднувались методи дослідження як дискретних, так і неперервних компонентів, або такі системи є комерційними і закритими для загального доступу.

Основною цінністю імітаційного моделювання є те, що в його основі лежить методологія системного аналізу. Вона дозволяє провести дослідження проектованої та аналізованої системи по схемі операційного аналізу, що включає в себе взаємопов'язані етапи: змістовна постановка задачі, розробка концептуальної моделі, розробка і програмна реалізація імітаційного моделювання, планування і проведення експериментів, прийняття рішень.

4.2. Розробка імітаційної моделі виробництва

Для реалізації імітаційної моделі виробництва, було розроблено додаток на мові програмування C++, що реалізує імітаційну модель системи, а також реалізовані розроблені в рамках дисертаційної роботи алгоритми.

В рамках роботи був розроблене візуальне середовище проектування структурних компонентів ГВС, СОУ ГВС, та ІВС СОУ ГВС як зображено на рис. 4.1.

В даному середовищі можливо виконати компоновку ГВС зі встановленим обладнанням, що стосується ІВС СОУ ГВС.

Середовище дозволяє задавати параметри надійності всіх компонентів модельованих систем, операційні параметри гнучких виробничих та транспортних модулів, а також компоновку сенсорного обладнання.

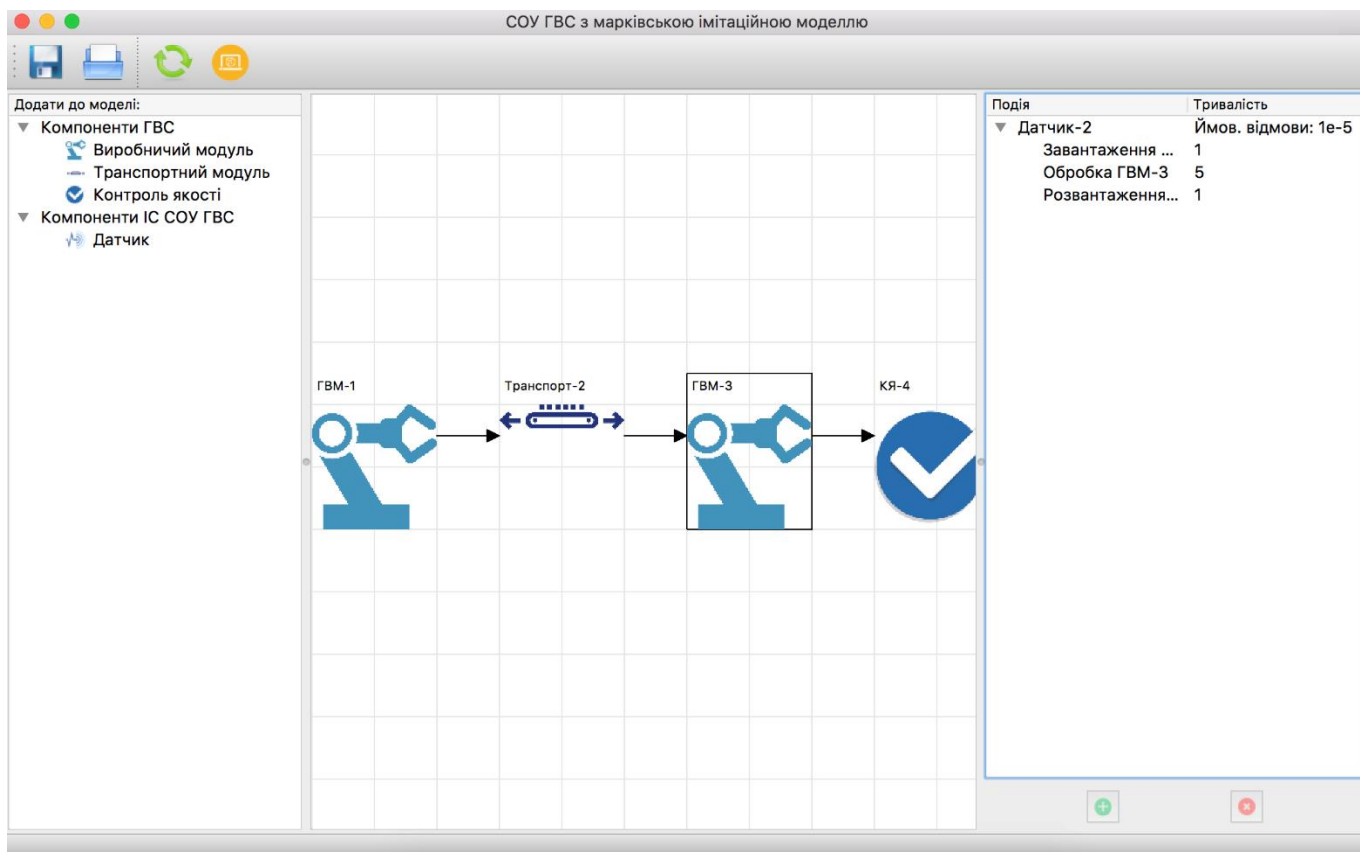


Рис 4.1. Візуальне середовище проектування структури ІВС СОУ ГВС.

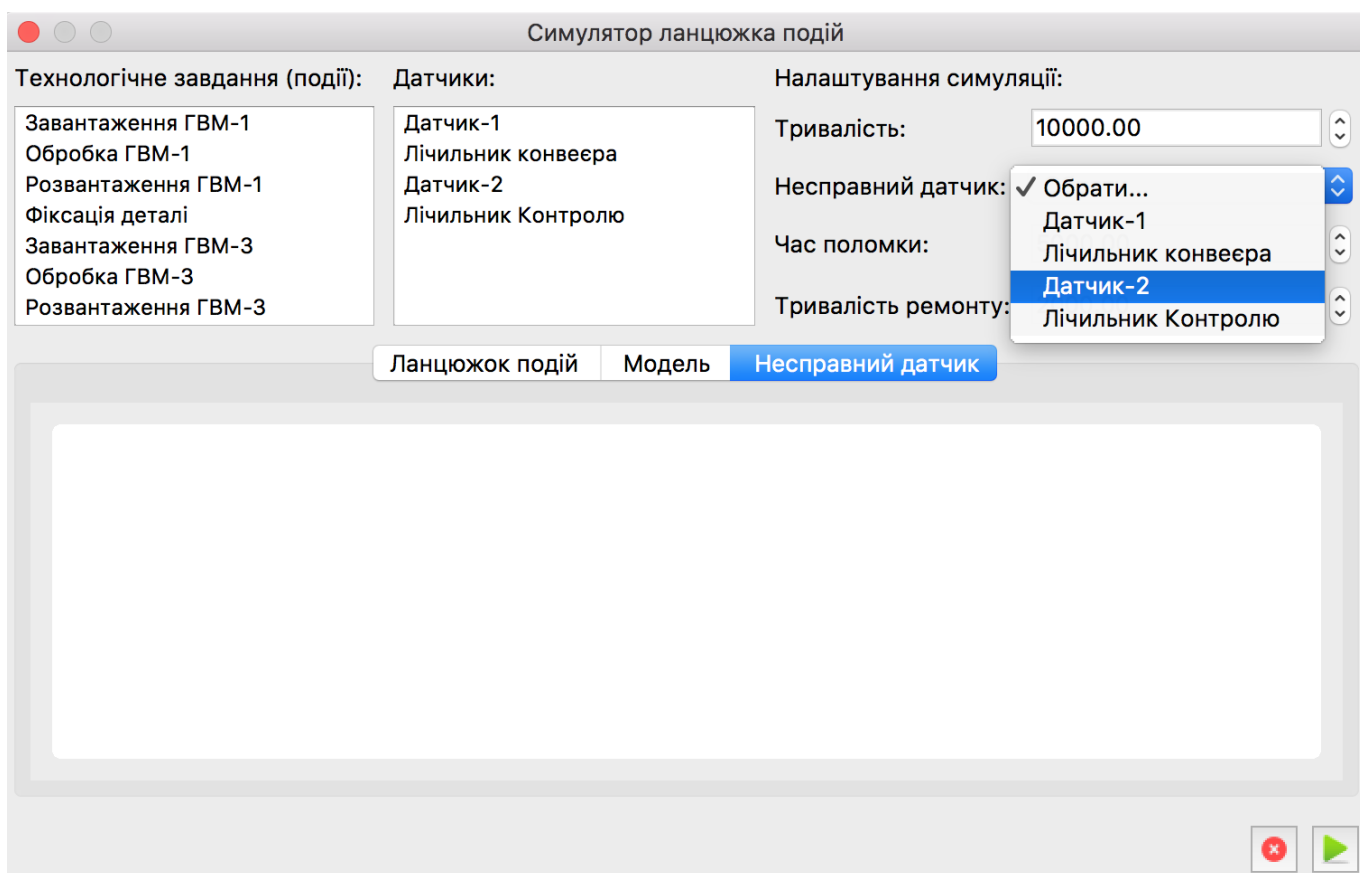


Рис. 4.2. Зображення симулятора роботи ІВС СОУ ГВС

Також був розроблений симулятор, що виконує імітацію роботи СОУ ГВС з можливістю задання сценаріїв нештатних режимів роботи сенсорного обладнання модельованої системи.

Розроблене імітаційне середовище дозволяє в повній мірі виконувати експериментальні дослідження, що проводяться з ціллю доведення ефективності розроблених методів підвищення надійності в рамках даного дисертаційного дослідження.

4.3. Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів

Експериментальні дослідження з ціллю підтвердження працездатності та ефективності розробленого підходу до підвищення надійності роботи СОУ ГВС проводились на стандартних компоновках ГВС, що довели свою працездатність в реальних виробничих системах. З розширеним списком компоновальних схем можна ознайомитись в Додатку А.

Для проведення експериментів були обрані компоновання гнучких виробничих систем Додаток А №5, Додаток А № 8, Додаток А № 15.

Для простоти та наочності проведення випробувань та аналізу отриманих результатів, експерименти проводились в середній період розподілу Вейбулла, який є основним та найважливішим експлуатаційним періодом виробничої системи.

Дослідження на імітаційних моделях виконувались згідно з наступним планом експерименту:

1. Обрання компоновальної схеми гнучкої виробничої лінії, наявності модуля контролю якості вихідної продукції, та періоду проведення експерименту (T_e).
2. Задання ланцюжка технологічних операцій по випуску одиниці готової продукції.
3. Задання показників роботи та надійності виробничого обладнання, необхідних для проведення експериментів, та розрахунку інтегральних показників надійності системи. Дані показники оформлюються у вигляді таблиці (табл. 4.1):
 - a. Середнє напрацювання між відмовами (T_{cp}) та його закон розподілу ($P_{T_{cp}}(t)$).
 - b. Закон розподілу часу, необхідного для ремонту обладнання при виході його з ладу ($P(t_p)$).
 - c. Час виконання детале-операції на кожному ГВМ чи виконання транспортування АТМ (T_o).
 - d. Наявність модуля контролю якості роботи безпосередньо ГВМ.
 - e. Класичні способи резервування обладнання.

Таблиця 4.1

Структура таблиці показників роботи та надійності виробничого обладнання

Обладнання	Середнє напрацювання між відмовами, год	Закон розподілу середнього напрацювання між відмовами	Закон розподілу часу ремонту обладнання	Час виконання операції, с	Модуль контролю якості	Резервування надійності
ГВМ-1	T_{cp1}	$P_{T_{cp1}}(t)$	$P_1(t_p)$	T_{o1}	+	Метод-1
ГВМ-2	T_{cp2}	$P_{T_{cp2}}(t)$	$P_2(t_p)$	T_{o2}	-	...
...
ГВМ- i	T_{cpi}	$P_{T_{cpi}}(t)$	$P_i(t_p)$	T_i	...	...

4. Задання показників надійності компонентів ІВС СОУ ГВС, а також структурної композиції обладнання ВОК СОУ ГВС. Для простоти проведення

кінцевих розрахунків показників надійності всієї системи, показники надійності компонентів вимірювальної групи задаються як один агрегований показник (табл. 4.2):

- a. Середнє напрацювання на відмову (TI_{cp}) та його закон розподілу $P_{TI_{cp}}(t)$.
- b. Тип фізичного компонування вимірювальної групи (внутрішній датчик ГВМ / зовнішній, незалежний датчик).
- c. Середній час, необхідний для виконання заміни та пуску нової вимірювальної групи у випадку відмови (TZ_{cp}).
- d. Класичні способи резервування обладнання.

Таблиця 4.2

Структура таблиці показників роботи та надійності вимірювальної групи

Обладнання	Середнє напрацювання на відмову, год	Закон розподілу середнього напрацювання	Тип компонування вимірювальної групи	Середній час заміни вимірювальної групи	Резервування надійності
ВГ-1	TI_{cp1}	$P_{TI_{cp1}}(t)$	внутрішній	TZ_{cp1}	Метод-1
ВГ-2	TI_{cp2}	$P_{TI_{cp2}}(t)$	зовнішній	TZ_{cp2}	...
...
ВГ- i	TI_{cpi}	$P_{TI_{cpi}}(t)$	зовнішній	TZ_{cpi}	...

5. Виконання імітації роботи ГВС в заданий період (пункт 1) без застосування розробленого методу інформаційного резервування на базі прихованих марківських моделей.

6. Виконання імітації роботи ГВС в заданий період (пункт 1) з застосуванням розробленого методу інформаційного резервування на базі прихованих марківських моделей.

7. Аналіз отриманих результатів ефективності застосування розробленого методу резервування на базі отриманих числових експериментальних даних, оформлених у вигляді наступних графіків та діаграм:

- графіку залежності тривалості виробничого процесу від часу за весь період роботи імітаційної моделі;
- графіку залежності кількості випущених одиниць продукції в залежності від часу за весь період роботи імітаційної моделі;

Для характерних періодів часу роботи імітаційної моделі, під час яких були зафіксовані відмови в роботі обладнання, виконується побудова діаграм Ганта, а також досліджуються числові показники прихованої марківської моделі виробничого процесу.

Кожен експеримент виконується окремо за різними сценаріями для обраних компонувань гнучких виробничих систем для того, щоб оцінити поведінку розробленого методу інформаційного резервування в різних ситуаціях як при застосуванні виключно його, так і в комплексі з застосуванням інших, класичних, методів резервування: структурного, функціонального, часового, та ін.

Експеримент 1. Даний експеримент проводиться на базі компонування № 5 з Додатку А. Цей тип компонування передбачає багатостороннє розміщення станків, наявність одного транспортного модуля та внутрішнього міжопераційного складу-накопичувача. Структурно його можна подати як зображено на рисунку 4.3. Також на рисунку стрілками позначений ланцюжок технологічних операцій, необхідний для випуску однієї одиниці продукції. Кількість номенклатурних одиниць продукції: 1.

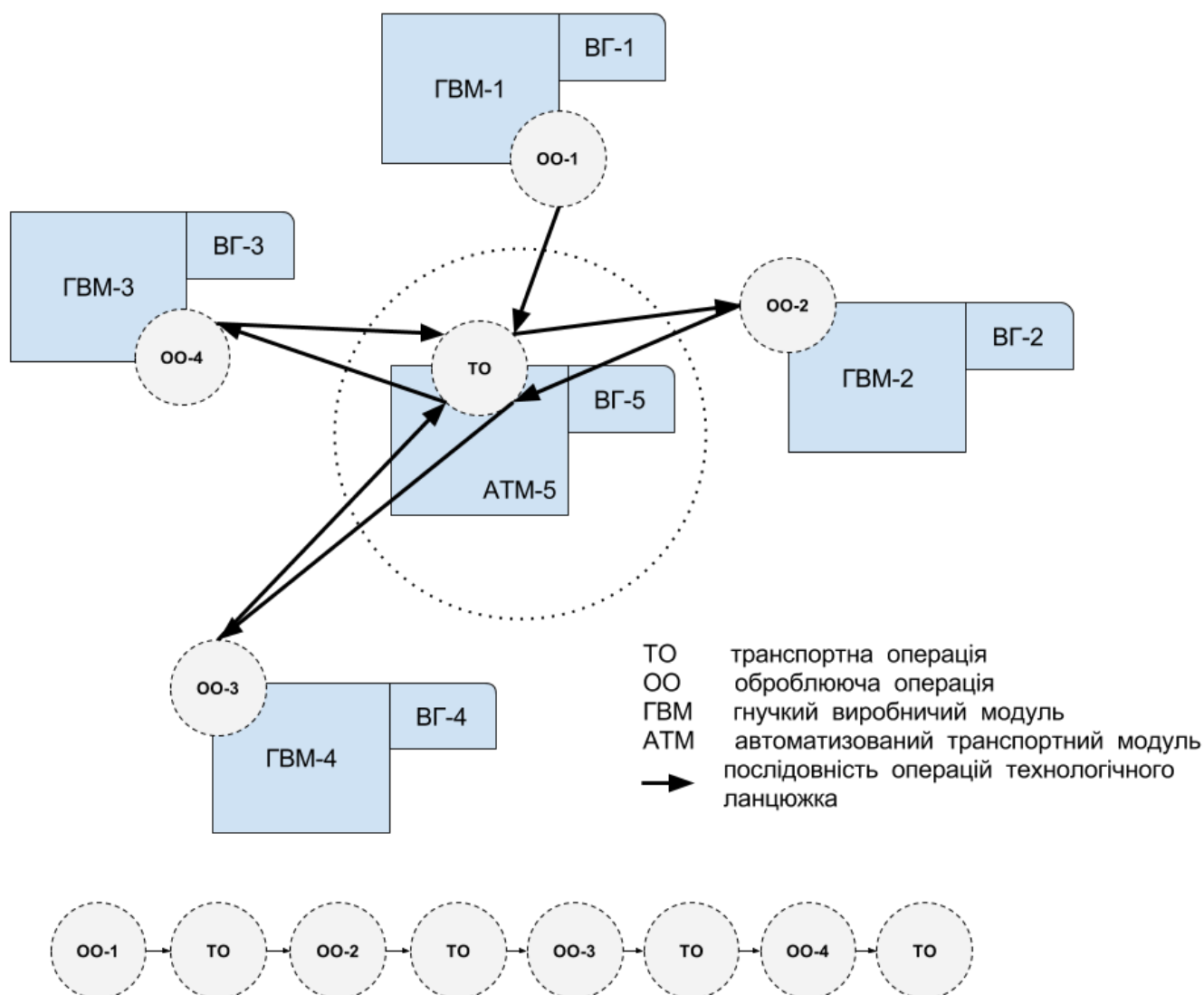


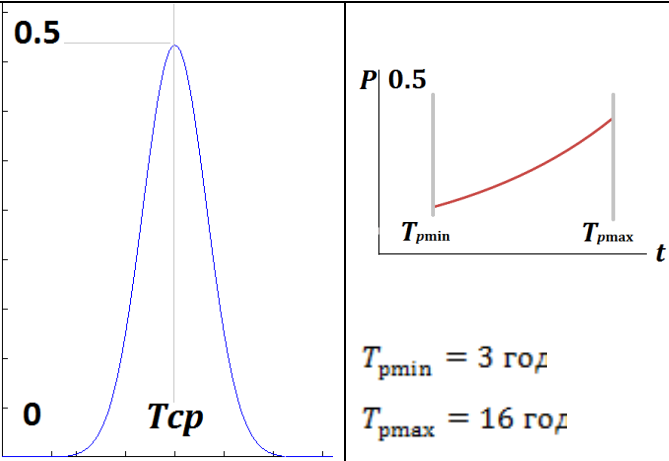
Рис. 4.3 Компонувальна структура ГВС для експерименту 1

Період проведення імітаційного експерименту – 8760 годин (~ 3 роки).

Параметри роботи та показники надійності виробничого обладнання задані як подано в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3
 Структура таблиці показників роботи та надійності виробничого обладнання для експерименту 1

Обладнання	Середнє напрацювання між відмовами, год	Закон розподілу середнього напрацювання між відмовами	Закон розподілу часу ремонту обладнання	Час виконання операції, с	Модуль контролю якості	Резервування надійності
------------	---	---	---	---------------------------	------------------------	-------------------------

ГВМ-1	300		60	-	-
ГВМ-2	270		30	-	-
ГВМ-3	350		40	-	-
ГВМ-4	400		50	-	-
АТМ-5	380		10-30	-	-

Обладнання ІВС СОУ ГВС для обраного компонування складається з сервера, мережевого кабелю та 4-х вимірювальних груп. Показники надійності компонентів ІВС СОУ ГВС задані як подано в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Таблиця показників надійності обладнання ІВС СОУ ГВС для експерименту 1

Обладнання	Середнє напрацювання на відмову, год	Закон розподілу середнього напрацювання	Тип компонування вимірювальної групи	Середній час заміни, год	Резервування надійності
ВГ-1	800		зовнішній	1	-
ВГ-2	800		зовнішній	1	-
ВГ-3	800		зовнішній	1	-
ВГ-4	800		зовнішній	1	-
ВГ-5	700		зовнішній	1	-
Мережевий кабель x 5	5800		зовнішній	3	-
Сервер	3000		зовнішній	1	-

На базі заданих характеристик роботи, а також номінальних середніх показників надійності виробничого обладнання ГВС, а також компонентів ІВС СОУ ГВС, виконаємо імітацію роботи системи в заданий період часу (8760 год),

отримавши результати імітації без застосування розробленого методу резервування, а також з використанням ПММ (рис. 4.4). Показником різниці ймовірностей відмови ВГ та виробничого обладнання, при якому включається ПММ, обрано значення 20%.

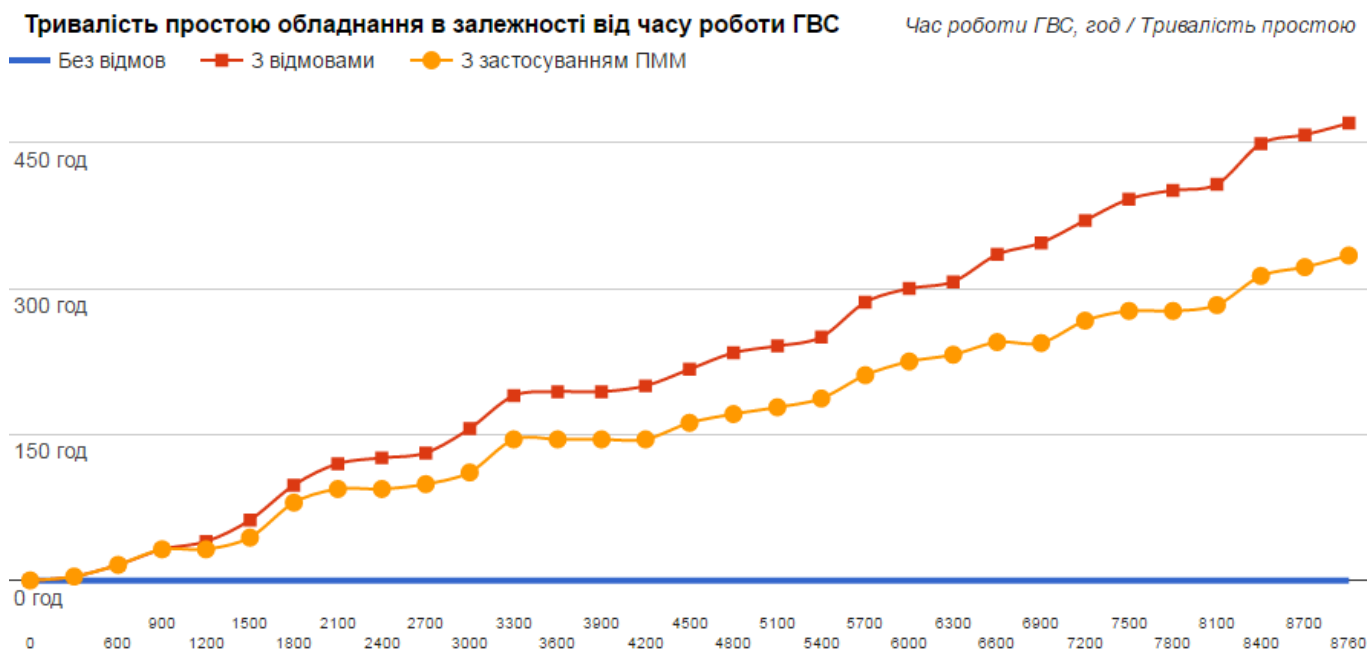


Рисунок 4.4 Тривалість простою виробничого обладнання ГВС з та без застосування розробленого способу резервування для експерименту 2

З проведеного експерименту бачимо, що без застосування розробленого методу резервування тривалість простою обладнання була рівна 5,36% загального часу роботи, тоді як з використанням ПММ – 3,81%, тобто вдалось збільшити тривалість технологічних процесів на 1,55% при умові, що не застосовувались інші методи резервування. В процесі імітації зафіксовано 46 відмов обладнання, з них 14 разів було спрацювання ПММ, 1 з яких виявилось так званим невірним спрацюванням алгоритму за рахунок показника різниці ймовірностей відмови ВГ та виробничого обладнання.

На базі аналізу втрат випуску продукції (рис. 4.5), бачимо, що поведінка графіку, а також процентне співвідношення величин повторює поведінку попереднього (рис 4.4), оскільки при заданих параметрах модельованої системи, а

саме відсутності структурного та функціонального резервування, відбувається зупинка технологічного ланцюжка виробництва при виникненні відмов виробничого обладнання.

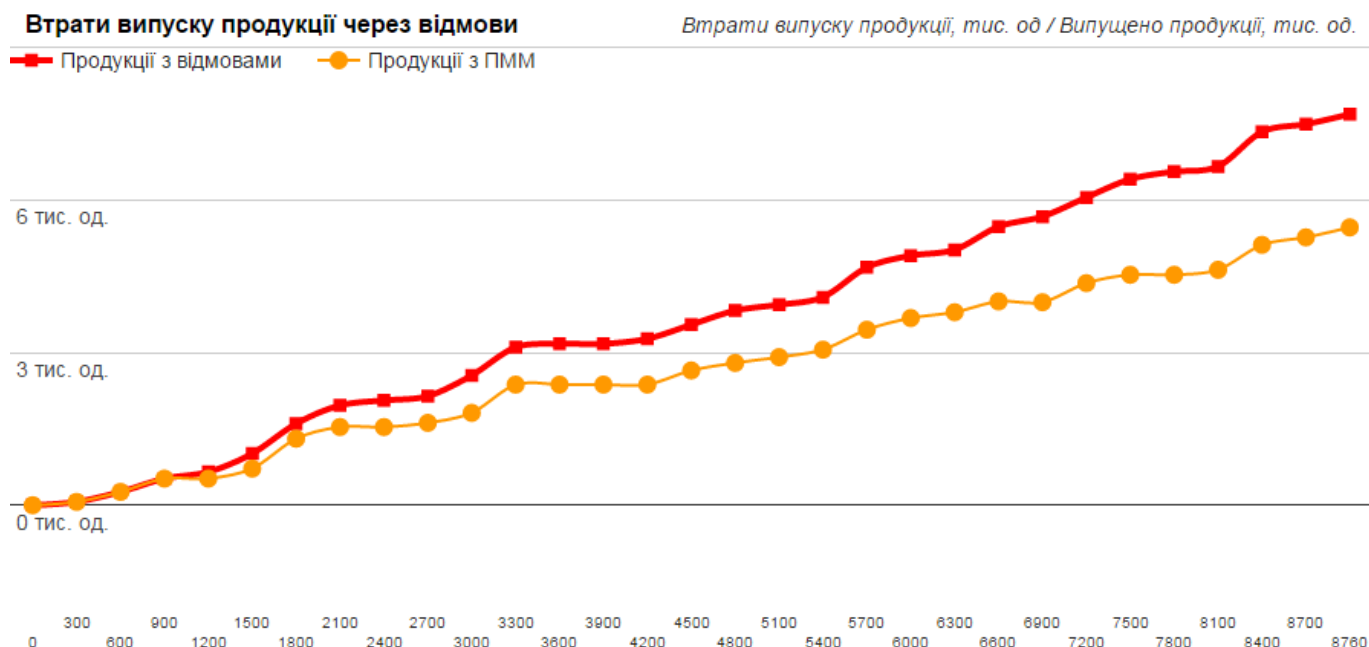


Рисунок 4.5 Втрати випуску продукції, спричинені простоями технологічних процесів виробництва для експерименту 1

Під час проведення експерименту можна виділити один тип характерних випадків для аналізу алгоритму – відмова ВГ без відмови обладнання, що можна подати у вигляді діаграми Ганта (рис. 4.6).

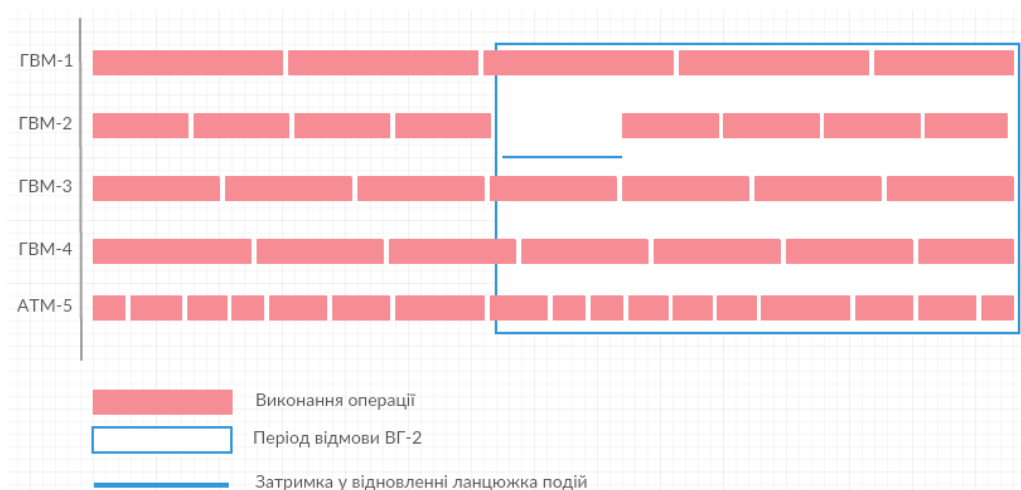


Рисунок 4.6 Діаграма Ганта роботи модулів ГВС при виході з ладу вимірювальної групи ВГ-2

З діаграми Ганта бачимо, що імітаційній моделі ПММ необхідно 40 секунд (тривалість ОО-2) для відновлення втраченої інформації про хід виробничого процесу, і прийняття рішення про продовження роботи ГВМ-2, тоді як без застосування ПММ доведеться зупинити роботу ГВС повністю до виконання діагностичних та ремонтних робіт.

Результати отриманих показників росту ймовірності (за розрахунком інтегрального показника) безвідмовної роботи всієї системи з застосуванням розробленого інформаційного методу резервування у порівнянні з випадком, що характеризується відсутністю жодного методу резервування, подані на графіку (рис. 4.7). На графіку зображене математичне очікування ймовірності безвідмовної роботи за результатами моделювання роботи досліджуваної моделі ГВС.

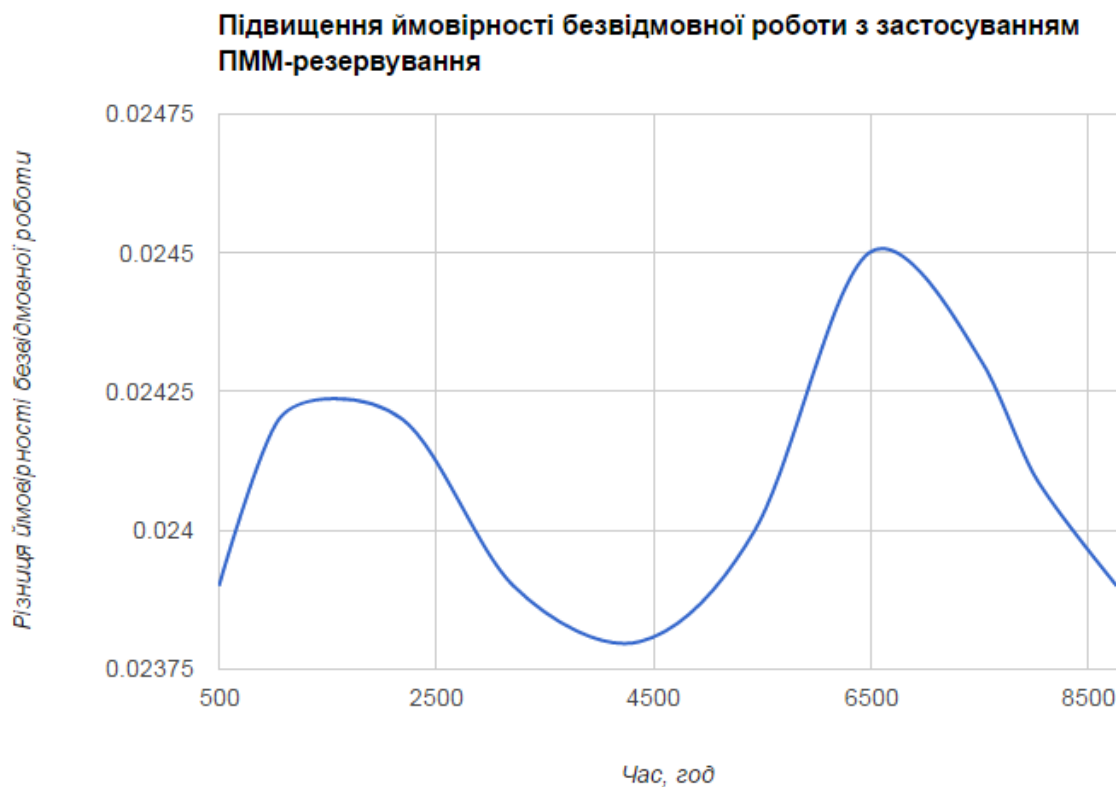


Рисунок 4.7 Підвищення ймовірності безвідмовної роботи системи для експерименту 1

Експеримент 2. Даний експеримент проводиться на базі компоновання № 8 з Додатку А. Цей тип компоновання передбачає однорядне розміщення станків, наявність одного транспортного модуля та зовнішнього міжопераційного складу-накопичувача. Структурно його можна подати як зображено на рисунку 4.8. Також на рисунку стрілками позначені ланцюжки технологічних операцій, необхідні для випуску однієї одиниці продукції. Кількість номенклатурних одиниць продукції: 2.

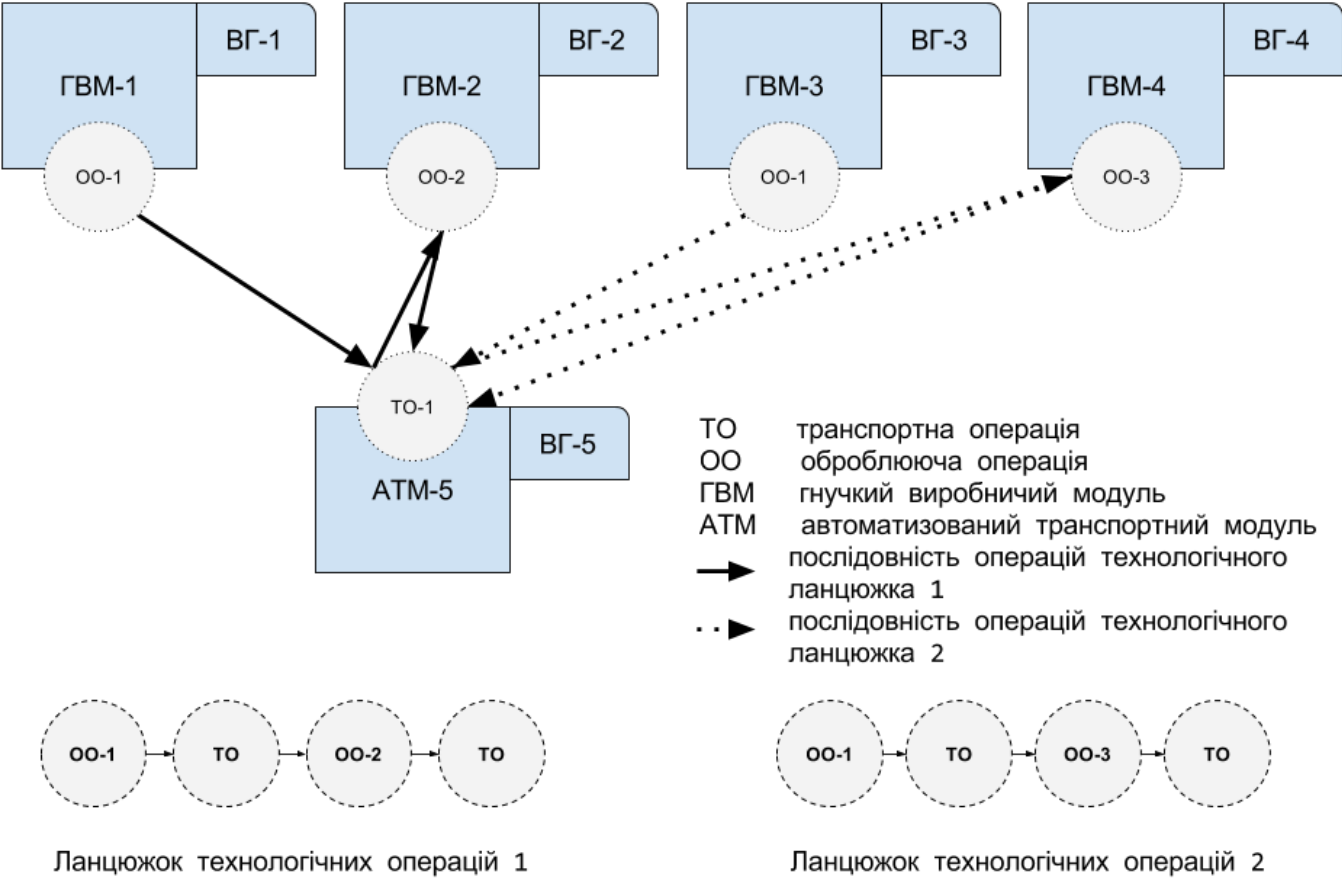


Рис. 4.8 Компоновальна структура ГВС для експерименту 2

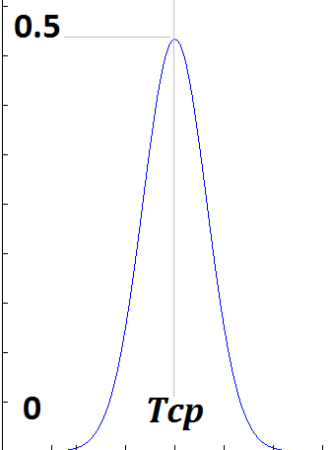
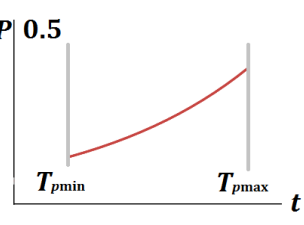
Період проведення імітаційного експерименту – 8760 годин (~ 3 роки).

Параметри роботи та показники надійності виробничого обладнання задані як подано в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

Структура таблиці показників роботи та надійності виробничого обладнання для експерименту 2

Облад	Середнє	Закон розподілу	Закон розподілу часу	Час	Моду	Резерв
-------	---------	-----------------	----------------------	-----	------	--------

наання	напрацювання між відмовами, год	середнього напрацювання між відмовами	ремонту обладнання	виконання операції, с	ль контролю якості	ування надійності
ГВМ-1	300		 $T_{pmin} = 3 \text{ год}$ $T_{pmax} = 16 \text{ год}$	60	-	-
ГВМ-2	270			30	-	-
ГВМ-3	300			60	-	Навантажений (70%) резерв ГВМ-1
ГВМ-4	330			50	-	-
АТМ-5	380			10-30	-	-

Обладнання ІВС СОУ ГВС для обраного компонування складається з сервера, мережевого кабелю та 4-х вимірювальних груп. Показники надійності компонентів ІВС СОУ ГВС задані як подано в таблиці 4.4.

Таблиця 4.6

Таблиця показників надійності обладнання ІВС СОУ ГВС для експерименту 1

Обладнання	Середнє напрацювання на відмову, год	Закон розподілу середнього напрацювання	Тип компонування вимірювальної групи	Середній час заміни, год	Резервування надійності
ВГ-1	800		зовнішній	1	-
ВГ-2	800		зовнішній	1	-
ВГ-3	800		зовнішній	1	-
ВГ-4	800		зовнішній	1	-
ВГ-5	700		зовнішній	1	-
Мережевий кабель x 5	5800		зовнішній	3	-
Сервер	3000		зовнішній	1	-

На базі заданих характеристик роботи, а також номінальних середніх показників надійності виробничого обладнання ГВС, а також компонентів ІВС СОУ ГВС, виконаємо імітацію роботи системи в заданий період часу (8760 год), отримавши результати імітації без застосування розробленого методу резервування, а також з використанням ПММ (рис. 4.9). Показником різниці ймовірностей відмови ВГ та виробничого обладнання, при якому включається ПММ, обрано значення 20%.

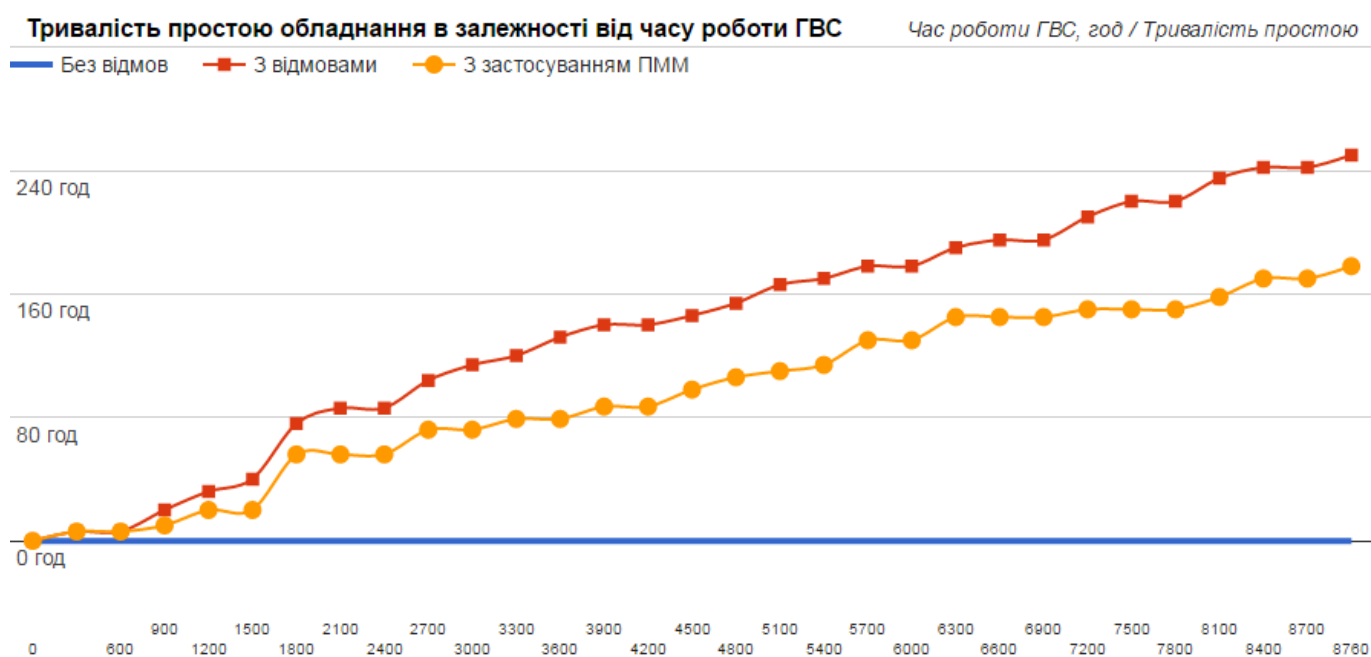


Рисунок 4.9 Тривалість простою виробничого обладнання ГВС з та без застосування розробленого способу резервування для експерименту 2

З проведеного експерименту бачимо, що без застосування розробленого методу резервування тривалість простою обладнання була рівна 2,85% загального часу роботи, тоді як з використанням ПММ – 2,35%, тобто вдалось збільшити тривалість технологічних процесів на 0,5% при застосуванні навантаженого (70%) резерву. В процесі імітації зафіксовано 42 відмови обладнання, з них 14 разів було спрацювання ПММ, при чому не зафіксовано невірних спрацювань алгоритму за рахунок показника різниці ймовірностей відмови ВГ та виробничого обладнання.

На базі аналізу втрат випуску продукції (рис. 4.10), бачимо, що поведінка графіку повторює поведінку попереднього (рис 4.9), проте кількість випущеної продукції вища за рахунок меншого застосування резервного ГВМ-3 на 0.8%.

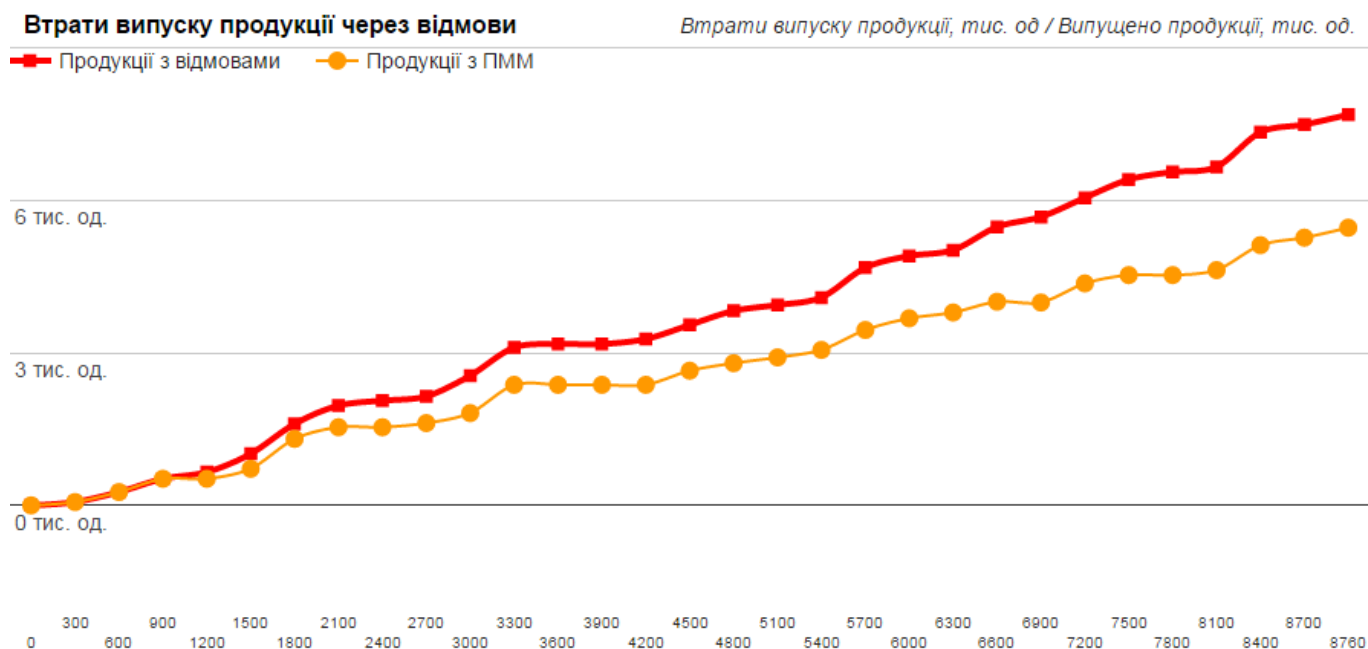


Рисунок 4.10 Втрати випуску продукції, спричинені простоями технологічних процесів виробництва для експерименту 2

Результати отриманих показників росту ймовірності (за розрахунком інтегрального показника) безвідмовної роботи всієї системи з застосуванням розробленого інформаційного методу резервування у порівнянні з випадком, що характеризується відсутністю жодного методу резервування, подані на графіку (рис. 4.11). На графіку зображене математичне очікування ймовірності безвідмовної роботи за результатами моделювання роботи досліджуваної моделі ГВС.



Рис. 4.11 Підвищення ймовірності безвідмовної роботи для експерименту 2

Експеримент 3. Даний експеримент проводиться на базі компоновання № 15 з Додатку А. Цей тип компоновання передбачає однорядне розміщення станків, наявність двох транспортних модулів та зовнішнього міжопераційного складу-накопичувача. Структурно його можна подати як зображено на рисунку 4.12. Також на рисунку стрілками позначений ланцюжок технологічних операцій, необхідний для випуску однієї одиниці продукції. Кількість номенклатурних одиниць продукції: 3.

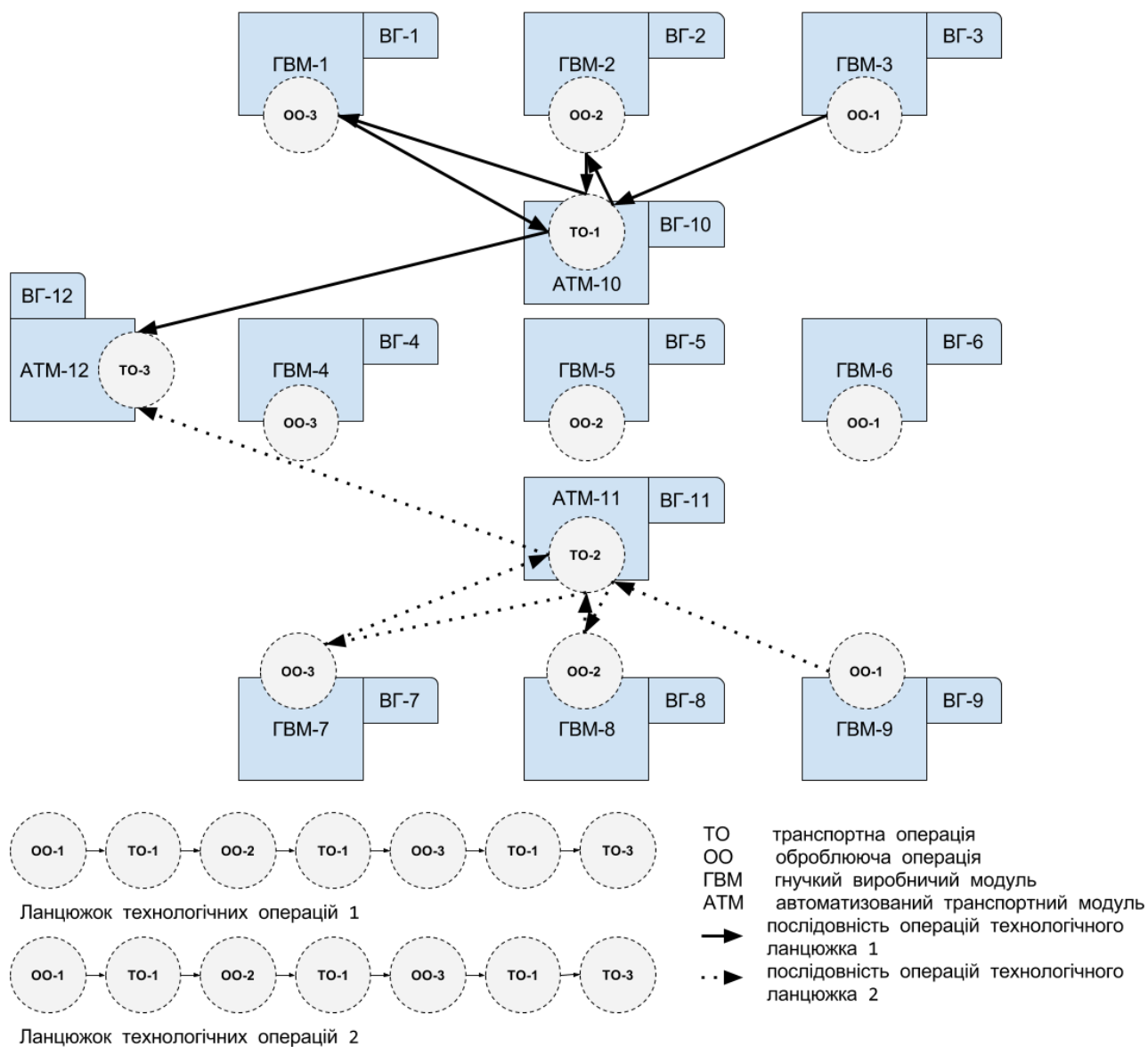


Рисунок 4.12 Компонувальна структура ГВС для експерименту 3

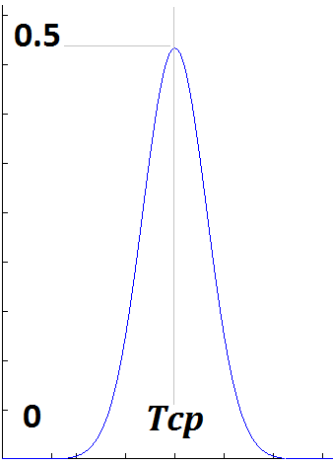
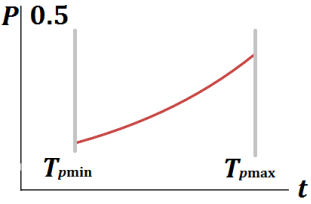
Період проведення імітаційного експерименту – 8760 годин (~ 3 роки).

Параметри роботи та показники надійності виробничого обладнання задані як подано в таблиці 4.5.

Таблиця 4.7

Структура таблиці показників роботи та надійності виробничого обладнання для експерименту 3

Обладнання	Середнє напруження між	Закон розподілу середнього напруження між відмовами	Закон розподілу часу ремонту обладнання	Час виконання операції	Модуль контролю	Резервування надійності
------------	------------------------	---	---	------------------------	-----------------	-------------------------

	відмова ми, год			ї, с	якост і	ості
ГВМ-1	300		 $T_{pmin} = 3 \text{ год}$ $T_{pmax} = 16 \text{ год}$	60	-	-
ГВМ-2	270			30	-	-
ГВМ-3	300			60	-	-
ГВМ-4	300			60	-	Ненаванта жений резерв ГВМ-1 і ГВМ-7
ГВМ-5	270			30	-	Ненаванта жений резерв ГВМ-2 і ГВМ-8
ГВМ-6	300			60	-	Ненаванта жений резерв ГВМ-3 і ГВМ-9
ГВМ-7	300			60	-	-
ГВМ-8	270			30	-	-
ГВМ-9	300			60	-	-
АТМ-10	380			10-20	-	-
АТМ-11	380			10-20	-	-
АТМ-12	380			10	-	-

Обладнання ІВС СОУ ГВС для обраного компонування складається з сервера, мережевого кабелю та 4-х вимірювальних груп. Показники надійності компонентів ІВС СОУ ГВС задані як подано в таблиці 4.4.

Таблиця 4.8

Таблиця показників надійності обладнання ІВС СОУ ГВС для експерименту 1

Обладн ання	Середнє напрацюван ня на відмову, год	Закон розподілу середнього напрацювання	Тип компонування вимірювальної групи	Середній час заміни, год	Резерву вання надійнос ті
ВГ-1	800		зовнішній	1	-
ВГ-2	800		зовнішній	1	-
ВГ-3	800		зовнішній	1	-

ВГ-4	800		зовнішній	1	-
ВГ-5	800		зовнішній	1	-
ВГ-6	800		зовнішній	1	-
ВГ-7	800		зовнішній	1	-
ВГ-8	800		зовнішній	1	-
ВГ-9	800		зовнішній	1	-
ВГ-10	700		зовнішній	2	-
ВГ-11	700		зовнішній	2	-
ВГ-12	700		зовнішній	2	-
Мережевий кабель x 4	5800		зовнішній	3	-
Сервер	3000		зовнішній	1	-

На підставі отриманих результатів було підтверджено наступне:

- розроблений метод інформаційного резервування є працездатним та ефективним. На базі проведених імітаційних досліджень на тестових компоновках ГВС показано зростання тривалості безвідмовної роботи виробничих процесів на й з застосуванням розробленого методу на 0,5%-1.55% в залежності від того, чи застосовуються паралельно інші способи резервування виробничого обладнання;

- розроблений метод інформаційного резервування краще працює для меншої кількості АТМ, де присутня менша комбінація композицій потоків деталей-операцій, що підтверджено більшим зростанням ймовірності безвідмовної роботи на протязі часу імітованого в рамках експерименту на другій моделі;

- при застосуванні навантажених резервів для виробничого обладнання, розроблений метод окрім підвищення показників надійності, забезпечує мінімізацію відхилення від календарного плану випуску продукції. На тестовій моделі зменшення відхилення становило 0.8%.

ВИСНОВКИ

Загальним результатом роботи є розроблений комплексний підхід до підвищення надійності систем оперативного управління гнучких виробничих систем, що базується на систематизації рекомендації щодо комбінованого застосування методик резервування в інформаційній підсистемі СОУ ГВС. Конкретними результатами роботи є наступне:

1. Вперше на основі аналізу структури та функцій СОУ ГВС, а також з використанням класичного підходу до аналізу надійності технічних систем, розроблена карта надійності безпосередньо ІВС СОУ ГВС, проаналізовані класичні способи резервування, застосовні в контексті даної системи, та поданий набір рекомендацій щодо їх застосування як поодинці, так і в комплексі з іншими методами резервування.

2. Розроблена система технічної діагностики ІВС СОУ ГВС та показаний характер відмов, що виникають в рамках роботи даної системи.

3. Вперше на основі аналізу інформаційних потоків ІС СОУ ГВС, а також методів інформаційного резервування, розроблена модель виробничої системи з використанням апарату прихованих марківських моделей, що дозволяє відновлювати не зафіксовані датчиками, що вийшли з ладу, дані про хід виробництва, відновлюючи таким чином інформацію для подальшого використання в процесі роботи СОУ ГВС.

4. Вперше розроблений алгоритм роботи розробленого методу інформаційного резервування, що, на відміну від попередніх розробок, може застосовуватись в процесі експлуатації СОУ ГВС, а не лише на етапі проектування виробничої системи..

5. Розроблена імітаційна модель виробничої системи, на базі якої проведені експериментальні підтвердження ефективності розробленого способу резервування, та наведений аналіз отриманих результатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andrews John Fault Tree Analysis // Proceedings of the 16th International Safety Conference. Електронний ресурс. Режим доступу: www.fault-tree.net/papers/andrews-fta-tutor.pdf, – 2004.
2. Barlow Richard E. Statistical theory of reliability and life testing: probability models / Barlow Richard E., Frank Proschan // Florida State Univ. Tallahassee, – 1975. – p. 453.
3. Birolini A Reliability Engineering: Theory and Practice // Springer, – 2014. – p.626.
4. Birolini A Quality and Reliability of Technical Systems: Theory, Practice, Management // Springer Science & Business Media, – Dec 2012. – p502.
5. Blunsom, Phil. Hidden markov models // Lecture notes, – August 15 (2004). – p. 18-19.
6. Bourlard, Hervé A Hidden Markov Models. Connectionist Speech Recognition / Bourlard, Hervé, Nelson Morgan // Springer US, – 1994. – p.27-58.
7. Bowles J.B. Application of Fuzzy Logic to Reliability Engineering / Bowles J.B., Pelaez C.E. // Proceedings of the IEEE, – Volume 83, Issue 3, – 1995. – p.435-449.
8. Caccamo M. Efficient reclaiming in reservation-based real-time systems // Caccamo M., Buttazzo G.C., Thomas D.C. // IEEE Transactions on Computers, Volume 54 Issue 2, – Jan 2005. – p.198-213.
9. Carmines Edward G. Reliability and validity assessment / Carmines Edward G., Richard A. Zeller. – Vol. 17, – Sage publications. – 1979. – p. 365.
10. Čepin Marko Reliability block diagram. Assessment of Power System Reliability // Springer London, – 2011. – p. 119-123.
11. Chikofsky E.J CASE: Reliability Engineering for Information Systems / Chikofsky E.J., Rubenstein B.L. // IEEE Software, – Volume 5, issue 2, – 1988. – p.11-16.

12. Czichos Horst Handbook of Technical Diagnostics // Springer Science & Business Media, – Jan 2013. – 566p.
13. Dhillon B. Reliability Engineering in Systems Design and Operation // John Wiley & Sons, Inc., – New York, – 1983. – p.367.
14. Ericson Clifton A. Fault tree analysis / Ericson Clifton A., Clifton Ll. // System Safety Conference, – Orlando, Florida. – 1999. – p. 345
15. Figiel Kerry D. A generalized reliability block diagram (RBD) simulation / Figiel Kerry D., Dileep R. Sule. Proceedings of the 22nd conference on Winter simulation. IEEE Press, 1990.
16. Fine Shai The hierarchical hidden Markov model: Analysis and applications / Fine Shai, Yoram Singer, Naftali Tishby // Machine learning, – 1998. – p. 41-62.
17. Forney G. David Jr. The Viterbi Algorithm: A Personal History / G. David Forney Jr. // Viterbi Conference, March 8, 2005 - University of Southern California, Los Angeles. – p. 423.
18. Gardiner Crispin W. Handbook of stochastic methods, – Vol. 3, – Berlin: Springer. – 1985. – p. 754.
19. Gnedenko Boris Probabilistic Reliability Engineering / Gnedenko Boris, Ushakov Igor // John Wiley & Sons, – 1995. – p.518.
20. Heckman James // The Common Structure of Statistical Models of Truncation, Sample Selection and Limited Dependent Variables and a Simple Estimator for such Models // Annals of Economin and Social Measurement. 5/4, – 1976. – p.465-492.
21. Kapur Kailash C. Reliability Engineering / Kapur Kailash C., Pecht Michael // John Wiley & Sons, – 2014, – p.512.
22. Kim Man Cheol Reliability block diagram with general gates and its application to system reliability analysis, – Annals of Nuclear Energy, – 2011. – p. 2456-2461.
23. Korbicz J. Fault Diagnostics: Models, Artificial Intelligence, Applications // Korbicz J, Koscielny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W. // Springer, – 2004. – 363p.

24. Lee Wen-Shing Fault Tree Analysis, Methods, and Applications: A Review // IEEE transactions on reliability, – 1985. – P.194-203.
25. Lisnianski, Anatoly, and Gregory Levitin. Assessment, Optimization and Applications. – 2003. – p. 441.
26. Lyu Michael R. Handbook of Software Reliability Engineering // IEEE Computer Society Press, – 1995. – p.840.
27. Miller David RH A hidden Markov model information retrieval system / Miller David RH, Tim Leek, Richard M. Schwartz // Proceedings of the 22nd annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, – 1999. – p. 241.
28. Modarres Mohammad Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide, Second Edition // CRC Press, – 2009, – p.470.
29. O'Connor D.T. Practical Reliability Engineering / O'Connor Patrick D.T., O'Connor Patrick, Kleyner Andre // John Wiley & Sons, – 2012. – p.512.
30. Pham, Hoang Software Reliability // John Wiley & Sons Inc., – Dec 1999. – p.543.
31. Pigan R. Automating with PROFINET, 2nd rev. and enl. Edition / Pigan R, Metter M. – 2008. – p. 654.
32. Popov, George Modeling System Reliability with Dual Structural Surplus and Hot Reservation / Popov George, Hristova Maria, Hristov Hristo, Popova Antoaneta // Recent Advances in Systems Science and Mathematical Modeling, – 2008. – p.286-292.
33. Rabiner L.R. Introduction to Hidden Markov Models / L.R. Rabiner, B. H. Juang. - IEEE ASSP Magazine, January 1986. – p. 323.
34. Rabiner Lawrence An introduction to hidden Markov models / Rabiner Lawrence, B. Juang. // IEEE ASSP magazine, – 3.1, – 1986. – p. 4-16.
35. Ryutov T. Trust based Approach for Improving Data Reliability in Industrial Sensor Networks / Ryutov T., Neuman C., // Joint iTrust and PST Conferences on Privacy, Trust Management and Security, 2007. – p. 745.

36. Silva I. Reliability and Availability Evaluation of Wireless Sensor Networks for Industrial Applications / Silva I., Guedes L.A., Portugal P., Vasques F., // Sensors MDPI Journal, – 2012. – p. 806-838.
37. Singh K. Quality, Reliability, and Security in Heterogenous Networks / Singh K., Awasthi A.K., // 9th International conference, QShine 2013, Greder Noida, , – India, 2013, – p. 1011.
38. Terje Aven Availability evaluation of oil/gas production and transportation systems // Reliability Engineering, – vol. 18, issue 1, – 1987. – p.35-44.
39. Vesely, W. E. A time-dependent methodology for fault tree evaluation // Nuclear engineering and design, – 13.2 (1970). – p. 337-360.
40. Wang, Wendai, et al. Reliability block diagram simulation techniques applied to the IEEE std. 493 standard network // IEEE transactions on industry applications, – 40.3, – (2004). – p. 887-895.
41. Wolf Lars C. Concepts for Resource Reservation in Advance / Wolf Lars C., Steinmetz Ralf // Multimedia Tools and Applications, Volume 4, Issue 3, – May 1997. – p.255-278.
42. Yang Ran Optimal resource allocation for time-reservation systems // Yang Ran, Bhulai Sandjai, van der Mei Rob, Seinstra Frank // Performance Evaluation, Volume 68, – May 2011. – p.414-428.
43. Zhou D.H. Fault diagnostics and fault tolerant control // IEEE Transactions on Areaspace and Electronic Systems, – 2002. – p.420-427.
44. Zio E. Reliability Engineering: Old Problems and New Challenges // Reliability Engineering & System Safety, – vol. 94, issue 2, – 2009. – p.125-141.
45. Байхельт, Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. / Байхельт, Ф., Франкен П. – 1988. – 758 с.
46. Барабаш О.В. Алгоритм самодіагностування технічного стану вузлів комутації інформаційних систем / Барабаш О.В., Обідін Д.М., Мусієнко А.П. // Сучасний захист інформації, – №2, – 2014. – с.114-125.

47. Богатырев В.А. Функциональная надежность систем реального времени. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, – 4 (86). – 2013. – 454 с.
48. Богатырев В.В. Оптимальное резервирование системы разнородных серверов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, – №12, – 2007. – с. 30-36.
49. Васілевський О.М. Нормування показників надійності технічних засобів / Васілевський О.М., Поджаренко В.О., Вінниця : ВНТУ, 2010. – 129 с.
50. Галицкая И.Е. Приближенное вычисление стационарных показателей надежности одного класса полумарковских систем. Анализ стохастических систем методами исследования операций и теории надежности: Сб. науч. тр. – К. / Галицкая И.Е., Кузнецов В.Н. // Ин-т кибернетики АН УССР, 1987. – с. 64-68.
51. Глазунов Л.П. Проектирование технических систем диагностирования / Глазунов Л.П., Смирнов А.Н // Л: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1982. – 168 с.
52. Гнеденко Б. В. Математические вопросы теории надежности / Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Коваленко И. Н. // Итоги науки. Сер. Теор. вероятн. Мат. стат. Теор. кибернет, – ВИНТИ, М. – 1966. – с. 648.
53. Грабовський О. В. Аналіз показників якості інформаційно-вимірювальних систем / О. В. Грабовський // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2013. – № 16 (989). – с. 59-66.
54. Дзінько Р. І. Використання мікропотоків для збору та обробки даних про стан ГВС : АСАУ / Р. І. Дзінько, А. М. Гордійчук, О. І. Лісовиченко. - 18' (38), 2011. – с. 17-24.
55. Дзінько Р.І. Підвищення відмовостійкості функціонування гнучких виробничих систем за допомогою прихованих марківських моделей / Дзінько Р.І., Лісовиченко О.І. // Адаптивні системи автоматичного управління, – №3 (24). – 2013. – с. 26-32.

56. Дзінько Р.І. Система оперативного контролю виробництва з дублюючою синхронною моделлю / Дзінько Р.І., Лісовиченко О.І. // Адаптивні системи автоматичного управління, – 2013. – 1(22). – с. 10–16.
57. Дзінько Р.І. Підвищення відмовостійкості функціонування гнучких виробничих систем за допомогою прихованих марківських моделей / Р.І. Дзінько, О.І. Лісовиченко, АСАУ, 2013. – с. 47–53.
58. Диллон, Балбир Сингх. Инженерные методы обеспечения надежности систем (репринт 1981). – мир. – 1984. – с. 452
59. Довбиш А.С. Основи проектування інтелектуальних систем [Текст] : навч. посіб. / А.С. Довбиш. - Суми : СумДУ Гриф МОН. - II місце у номінації "Краще навчальне видання з інформатики та обчислювальної техніки" у Всеукраїнському конкурсі видань для вищих навчальних закладів "Університетська книга-2010". – 2009. – 170 с.
60. Доценко Н.В. Выбор структуры системы с функциональным резервированием / Доценко Н.В., Шипулин А.И., Павлик А.В., Дидык Н.А. // Системы управления, навігації та зв'язку, – №4, – 2007. – с.118-120.
61. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. – 1986. – 470 с.
62. Золотова Т.М. Резервирование аналоговых устройств автоматики / Золотова Т.М., Кербников Ф.И., Розенблат М.А. // М.: Энергоатомиздат, 1986. – 128 с.
63. Душкин А.В. О потребностях и возможностях функционального резервирования дополнительных средств мониторинга информационного пространства информационно-вычислительной системы // Системы управления и информационные технологии, – № 4.1, – 2006. – с.144-145.
64. Жданов В.В. Структурно-резервированные технические системы и показатели их надежности / Жданов В.В., Лазарев Д.В. // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», – том 1, – 2005. – с.15-16.

65. Игнатущенко В.В. Об эффективности временного резервирования параллельных вычислительных процессов / Игнатущенко В.В., Тепляков А.В. // Автоматика и телемеханика, – выпуск 6, – 1994. – с.154-169.
66. Игнатъева А. В. Исследование систем управления / Игнатъева А. В., М. М. Максимцов. (2003). . – 710 с.
67. Капінос Г.І. Операційний менеджмент [текст] : нач. Посіб. / Г.І. Капінос, І. В. Бабій // К. : «Центр учбової літератури», 2013. – 352 с.
68. Карибский В.В. Анализ систем для контроля работоспособности и диагностики неисправностей // Автоматика и телемеханика, – том 26 №2, – 1965. – с.308-314.
69. Князева Н.А. Повышение живучести инфокоммуникационной сети путем структурного резервирования / Князева Н.А., Грищенко И.В // Вісник ДУІКТ. – 2013. – №2. – с.21-25.
70. Коваленко А.С. Підсистема технічної діагностики для автоматизації процесів керування в інтегрованих інформаційних системах / Коваленко А.С., Смірнов О.А., Коваленко О.В. // Системи озброєння і військова техніка, – № 1(37), – 2014. – с. 126-129.
71. Колодежный Л.П. Надежность и техническая диагностика / Колодежный Л.П., Чернодаров А.В. // Изд. ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, – 2009. – 280 с.
72. Королюк В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем / Королюк В.С., Турбин А.Ф. // К. : Наук. думка, 1982. – 236 с.
73. Копп В.Я. Моделирование автоматизированных производственных систем.// Севастополь: СевНТУ, 2012. – 700 с.
74. Кузнецов В.Н. Полумарковские модели восстанавливаемых систем / Кузнецов В.Н., Турбин А.Ф., Цатурян Г.Ж. // Препринт 81.11. – К. : Ин-т математики АН УССР, 1981. – 44с.
75. Котов В. У. Сети Петри // М.: Наука, 1984. – 264 с.

76. Лапшин Ю.А. Влияние временного резервирования на эксплуатационную надежность технологического комплекса // Механизация и электрификация сельского хозяйства, – №7, – 1985. – с.17-19.

77. Лисовиченко О.И. Разработка объектно-ориентированной среды моделирования материальных потоков гибкой производственной системы, диссертация, Киев, 2007.

78. Лонгботтом Рой Надежность вычислительных систем // Энергоатомиздат, – 1985. – 414 с.

79. Лычкина Н. Н. Современные технологии имитационного моделирования и их применение в информационных бизнес-системах и системах поддержки принятия решений. // Сб. докладов Второй научно-практич. конференции по имитационному моделированию ИММОД-2005. СПб.: ФГУП ЦНИИТС. – Vol. 1. – 2005. – 746 с.

80. Новиков Е.В. Оценка влияния временного резервирования на надежность сложных технических систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, – № 4-2, – 2010. – с. 28-33.

81. Павлов И.В. Оценка надежности системы с нагруженным резервированием по результатам испытаний ее элементов / Павлов И.В., Лёвин П.А. // Вестник Московского технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Естественные науки», – выпуск №3 / 2001. – с.59-70.

82. Павлов Ю.А. Система организационно-технологического управления гибкими объектами в компьютерно-интегрированном камнеобрабатывающем производстве // Горный информационно-аналитический бюллетень, №4, 2006. - с. 48- 55.

83. Парахуда Р.Н. Информационно-измерительные системы. Письменные лекции / Парахуда Р.Н., Литвинов Б.Я. // СПб.: СЗТУ. – 2002. – 74с.

84. Поморова О.В. Теоретичні основи, методи та засоби інтелектуального діагностування комп'ютерних систем: Монографія // «Тріада-М», – 2007. – 120 с.

85. Пурич Д. А. Экспресс-анализ структурной надежности сложных технических систем с нагруженным резервированием / Пурич, Д. А., О. С. Савельева, and В. М. Тонконогий // Сучасні технології в машинобудуванні, – 8 (2013). – с. 272-280.
86. Райкин А. Л. Элементы теории надежности для проектирования технических систем. – М.: Советское радио, – 1967. – 741 с.
87. Рябинин И.А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. // Москва. – :Радио и связь, – 1984. – 264с.
88. Савельева О. С. Применение скрытых марковских моделей для идентификации технических и организационных нарушений / Савельева О. С., Щедров И. Н., Пурич Д. А. // Материалы XXII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ(2014): с.18-20.
89. Соколов И.В. Сравнительная оценка надежности системы с функциональным резервированием и системы с резервированием замещением / Соколов И.В., Волобуев М.Ф. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, – №4(2), – 2012. – с.252-254.
90. Соловьев В. А. Системы оперативного управления. – 2015. – 188 с.
91. Сорокин А.С. Математическое моделирование оценки надежности технологических систем // Вестник Кузбасского государственного технического университета, – №5 / 2008, – с.28-37.
92. Схиртладзе А.Г. Определение надежности автоматизированной системы управления технологическими процессами ремонтного производства / Схиртладзе А.Г., Ю.Н. Полянчиков // Известия Волгоградского государственного технического университета, – №20 (123), – 2013. – с. 80-83.
93. Тарасов А.А. Управление функциональной реконфигурацией отказоустойчивых систем // Информационные технологии. – 2000. – №8, с.11-15.

94. Тихонов, В.И. Марковские процессы. / Тихонов, В.И., Миронов М.А. – 1977. – 426 с.
95. Толбатов В.А. Техніко-економічне обґрунтування побудови систем управління підвищеної надійності / Толбатов, В.А., Толбатов А. В., Толбатов С. В. // Вісник Сумського державного університету. – Сер.: Технічні науки, – 3 (2012). – с.68-71.
96. Ушаков И.А Курс теории надежности систем // М.: Дрофа, – 2008. – 239 с.
97. Федухин А.В. Анализ эффективности смешанного резервирования невосстанавливаемых систем // Математические машины и системы, – № 2, том 1, – 2008. – с.137-148.
98. Харченко В. С. Гарантоздатність комп'ютерних систем: проблеми і результати // Авиационно-космическая техника и технология, – 7 (2005): с.352-376.
99. Хенли Э. Дж Надежность технических систем и оценка риска / Хенли, Э. Дж, and Х. Кумамото. – 1984. – 436 с.
100. Чібісова Т.П. Гнучке автоматизоване виробництво – промислова стратегія ХХІ століття / Чібісова Т.П. Мехович С.А. // 2-га університетська науково-практична студентська конференція магістрантів, ХІІІ, 2008.
101. Шевцов Г.А. Логическое резервирование / Шевцов Г.А., Шеремет Е.М. // Л.: Изд. Львовского университета, – 1973. – 136с.
102. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука. – 1978. – 436 с.
103. Шипулин А.И. Приближенный метод выбора структуры систем с функциональным резервированием / Шипулин А.И., Павлик А.В., Дидык Н.А. // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, – № 1(16), – 2008. – с.100-102.

104. Шкуліпа П.А. Основні напрямки розвитку автоматизованих систем технічного діагностування об'єктів радіоелектроніки // Вісник Хмельницького національного університету, – №6, – 2012. – с.192-194.

105. Шкляр В. Н. Надежность систем управления: учебное пособие / В.Н. Шкляр; Томский политехнический университет – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 126 с.

106. Шубинский И. Структурное резервирование в информационных системах. Предельные оценки // Журнал «Надежность», – номер 1(40), – 2012. – с.118-125.

107. Ямпольський Л. С. Гнучкі комп'ютерно-інтегровані системи: планування, моделювання, верифікація та управління / Л. С. Ямпольський, П. П. Мельничук, К. Б. Остапченко, О. І. Лісовиченко. - Житомир : ЖДТУ, 2010. – 641 с.

108. Ямпольський Л.С. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління. Комплекс з 3-х підручників / 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.

ДОДАТОК А

Розширений перелік компоновальних структур гнучких виробничих систем

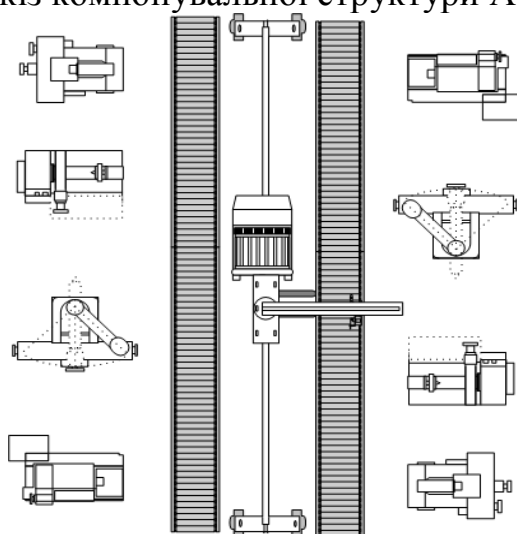
Компонування № 1

Тип міжопераційного складу-накопичувача: внутрішній

Розміщення станків: двостороннє

Робота АТМ: один АТМ

Ескіз компоновальної структури АТМ



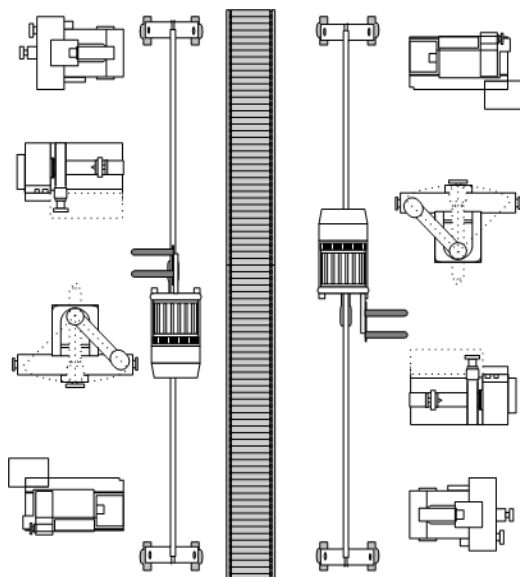
Компонування № 2

Тип міжопераційного складу-накопичувача: внутрішній

Розміщення станків: двостороннє

Робота АТМ: паралельна робота двох чи більше АТМ

Ескіз компоновальної структури АТМ



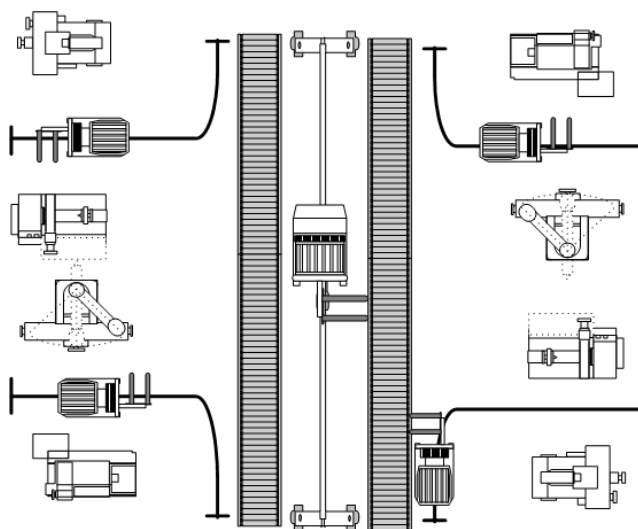
Компонування № 3

Тип міжопераційного складу-накопичувача: внутрішній

Розміщення станків: двостороннє

Робота АТМ: послідовна робота двох чи більше АТМ

Ескіз компоувальної структури АТМ



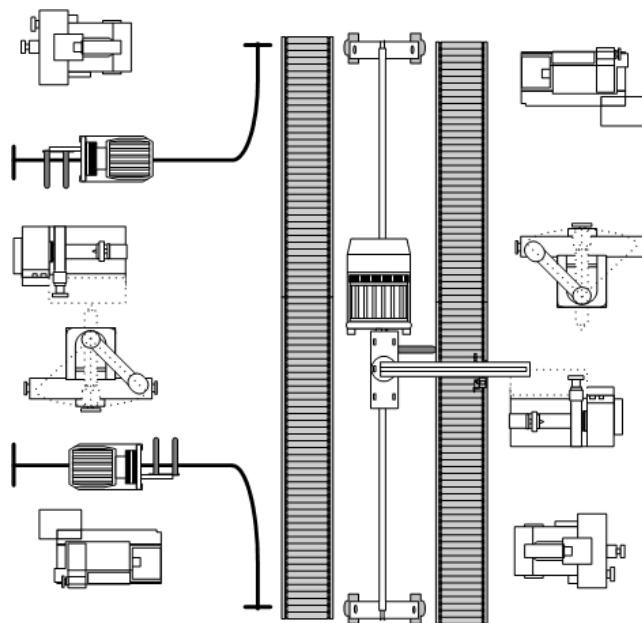
Компонування № 4

Тип міжопераційного складу-накопичувача: внутрішній

Розміщення станків: двостороннє

Робота АТМ: послідовно-паралельна робота двох чи більше АТМ

Ескіз компоувальної структури АТМ



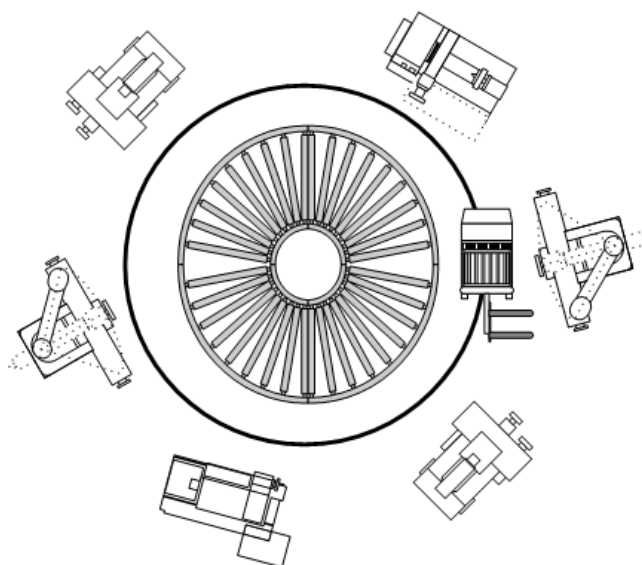
Компонування № 5

Тип міжопераційного складу-накопичувача: внутрішній

Розміщення станків: багатостороннє

Робота АТМ: один АТМ

Ескіз компонувальної структури АТМ



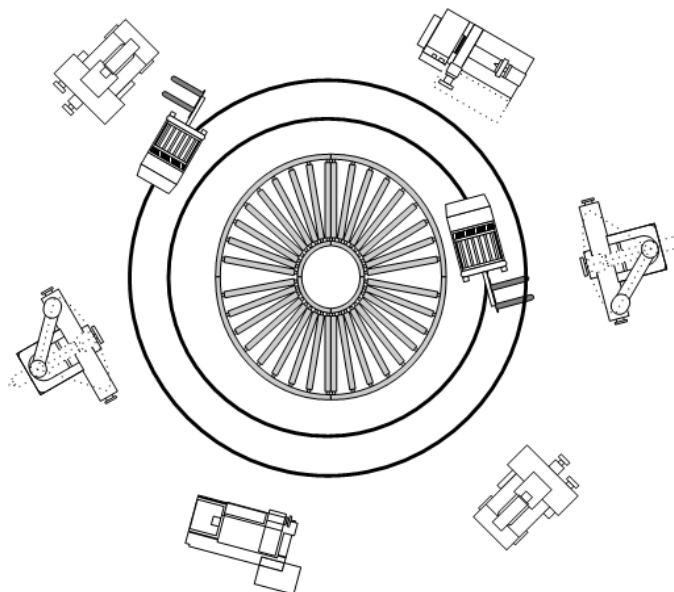
Компонування № 6

Тип міжопераційного складу-накопичувача: внутрішній

Розміщення станків: багатостороннє

Робота АТМ: паралельна робота двох чи більше АТМ

Ескіз компонувальної структури АТМ



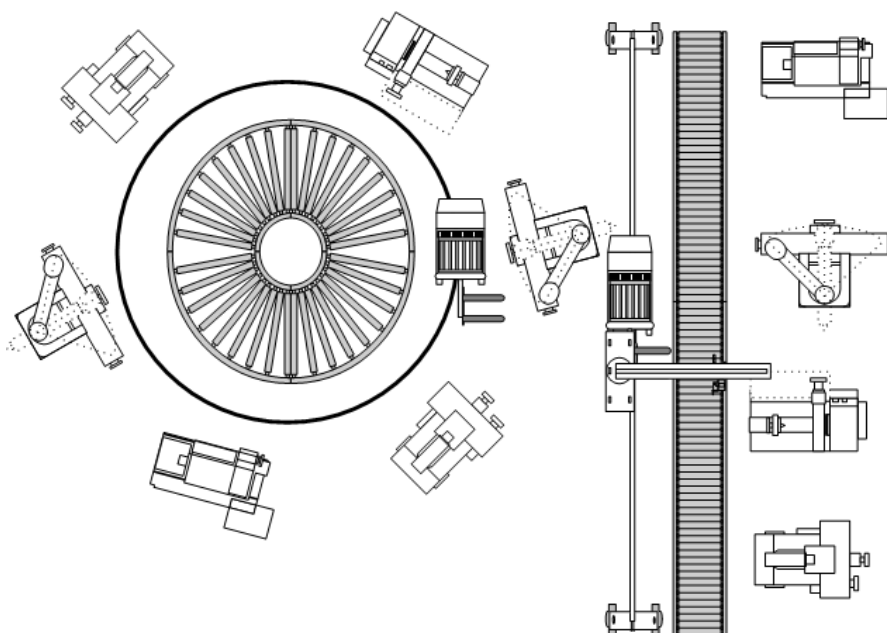
Компонування № 7

Тип міжопераційного складу-накопичувача: внутрішній

Розміщення станків: багатостороннє

Робота АТМ: послідовно-паралельна робота двох чи більше АТМ

Ескіз компоувальної структури АТМ



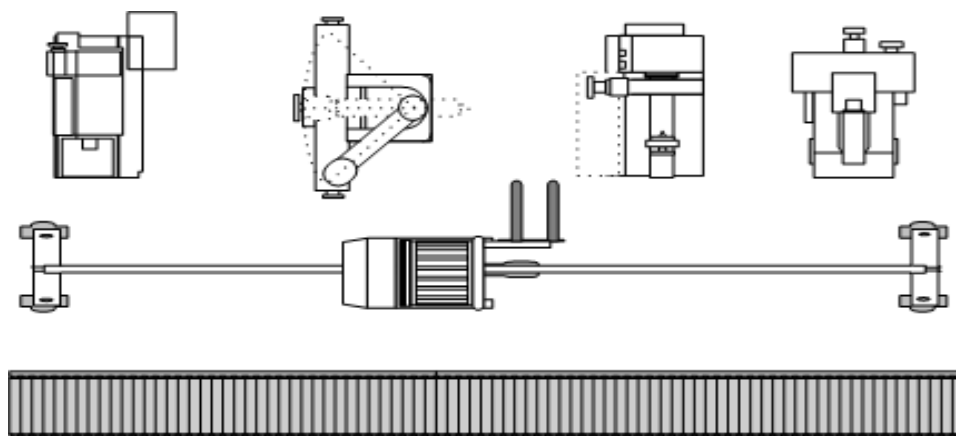
Компонування № 8

Тип міжопераційного складу-накопичувача: зовнішній

Розміщення станків: однорядне

Робота АТМ: один АТМ

Ескіз компоувальної структури АТМ



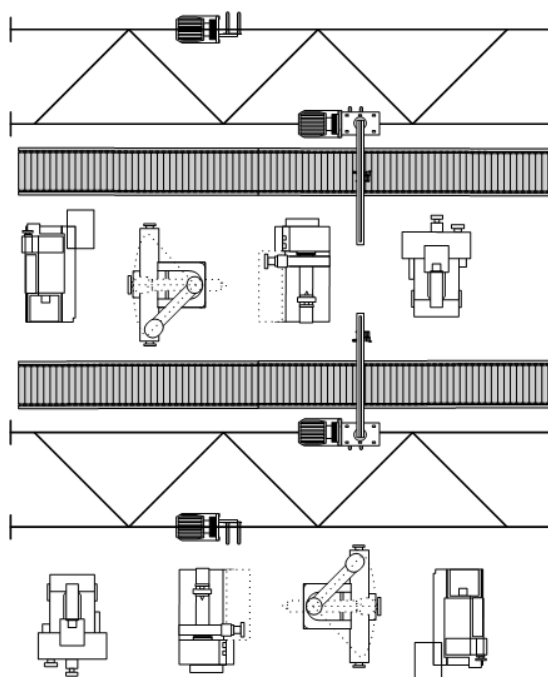
Компонування № 9

Тип міжопераційного складу-накопичувача: зовнішній

Розміщення станків: однорядне

Робота АТМ: один АТМ

Ескіз компоувальної структури АТМ



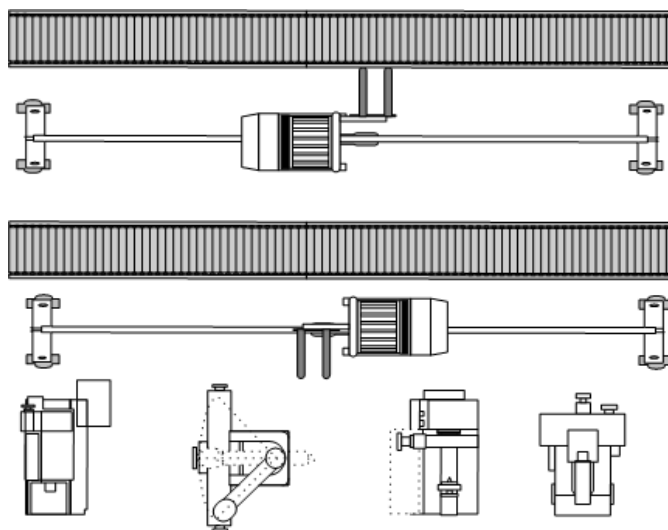
Компонування № 10

Тип міжопераційного складу-накопичувача: зовнішній

Розміщення станків: однорядне

Робота АТМ: послідовна робота двох чи більше АТМ

Ескіз компоувальної структури АТМ



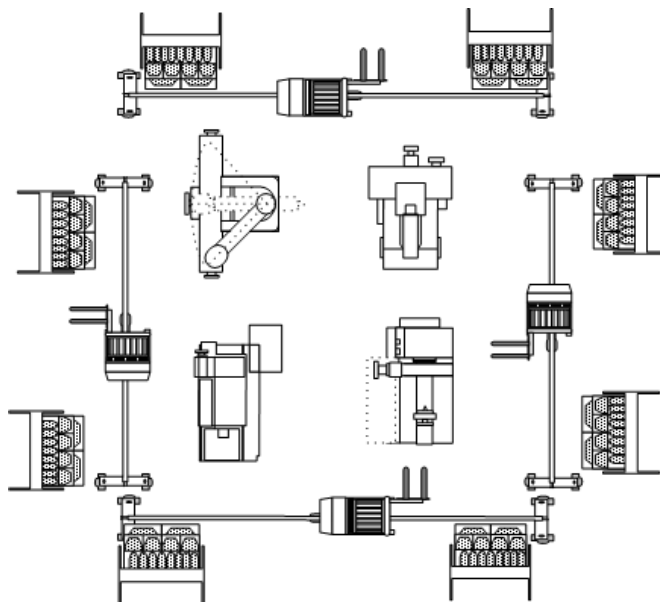
Компоування № 11

Тип міжопераційного складу-накопичувача: зовнішній

Розміщення станків: однорядне

Робота АТМ: послідовна робота двох чи більше АТМ

Ескіз компоувальної структури АТМ



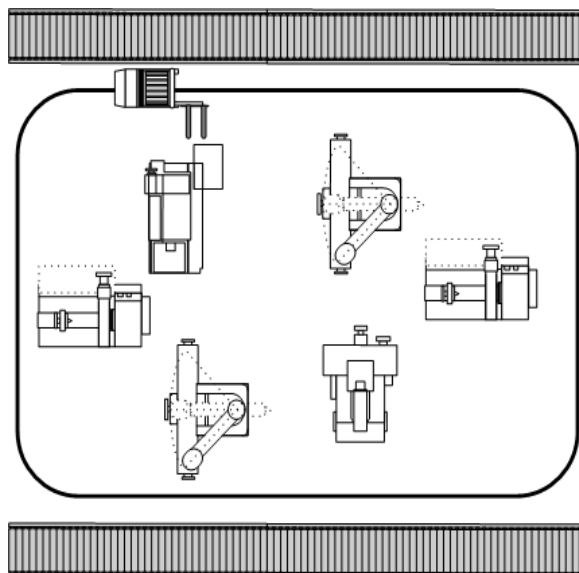
Компоування № 12

Тип міжопераційного складу-накопичувача: зовнішній

Розміщення станків: однорядне

Робота АТМ: один АТМ

Ескіз компоувальної структури АТМ



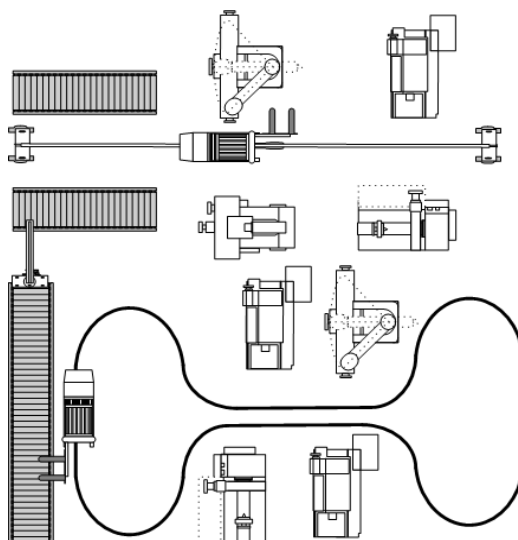
Компонування № 13

Тип міжопераційного складу-накопичувача: зовнішній

Розміщення станків: однорядне

Робота АТМ: один АТМ

Ескіз компонувальної структури АТМ



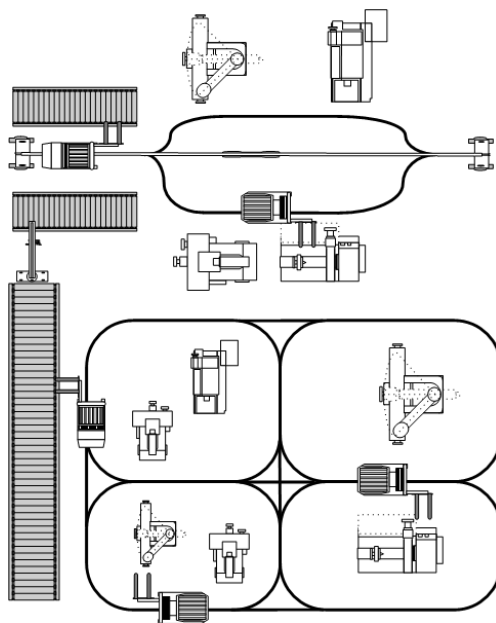
Компонування № 14

Тип міжопераційного складу-накопичувача: зовнішній

Розміщення станків: однорядне

Робота АТМ: Послідовно-паралельна робота двох та більше АТМ

Ескіз компонувальної структури АТМ



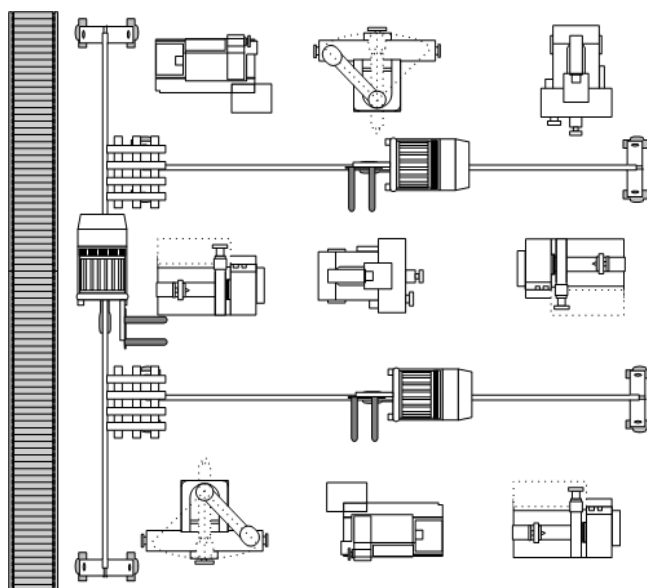
Компонування № 15

Тип міжопераційного складу-накопичувача: зовнішній

Розміщення станків: однорядне

Робота АТМ: Послідовно-паралельна робота двох та більше АТМ

Ескіз компоновальної структури АТМ



ДОДАТОК Б

Реалізація алгоритму «Вперед-назад» на мові програмування Python

```
def fwd_bkw(x, states, a_0, a, e, end_st):
    L = len(x)

    fwd = []
    f_prev = {}
    # forward part of the algorithm
    for i, x_i in enumerate(x):
        f_curr = {}
        for st in states:
            if i == 0:
                # base case for the forward part
                prev_f_sum = a_0[st]
            else:
                prev_f_sum = sum(f_prev[k]*a[k][st] for k in
states)

            f_curr[st] = e[st][x_i] * prev_f_sum

        fwd.append(f_curr)
        f_prev = f_curr

    p_fwd = sum(f_curr[k]*a[k][end_st] for k in states)

    bkw = []
    b_prev = {}
    # backward part of the algorithm
    for i, x_i_plus in enumerate(reversed(x[1:]+(None,))):
        b_curr = {}
        for st in states:
            if i == 0:
                # base case for backward part
                b_curr[st] = a[st][end_st]
            else:
                b_curr[st] = e[st][x_i_plus] * sum(b_prev[k]*a[k][st] for k in
states)
```

```

        b_curr[st] = sum(a[st][l]*e[l][x_i_plus]*b_prev[l]
for l in states)

    bkw.insert(0,b_curr)
    b_prev = b_curr

p_bkw = sum(a_0[l] * e[l][x[0]] * b_curr[l] for l in states)

# merging the two parts
posterior = []
for i in range(L):
    posterior.append({st: fwd[i][st]*bkw[i][st]/p_fwd for st
in states})

assert p_fwd == p_bkw
return fwd, bkw, posterior

```

Реалізація алгоритму Вітербі на мові програмування Python

```

class Trellis:
    trell = []
    def __init__(self, hmm, words):
        self.trell = []
        temp = {}
        for label in hmm.labels:
            temp[label] = [0, None]
        for word in words:
            self.trell.append([word, copy.deepcopy(temp)])
        self.fill_in(hmm)

    def fill_in(self, hmm):
        for i in range(len(self.trell)):
            for token in self.trell[i][1]:
                word = self.trell[i][0]
                if i == 0:
                    self.trell[i][1][token][0] = hmm.e(token, word)
                else:
                    max = None
                    guess = None

```

```

        c = None
        for k in self.trell[i-1][1]:
            c = self.trell[i-1][1][k][0] +
hmm.t(k,token)
            if max == None or c > max:
                max = c
                guess = k
            max += hmm.e(token,word)
            self.trell[i][1][token][0] = max
            self.trell[i][1][token][1] = guess

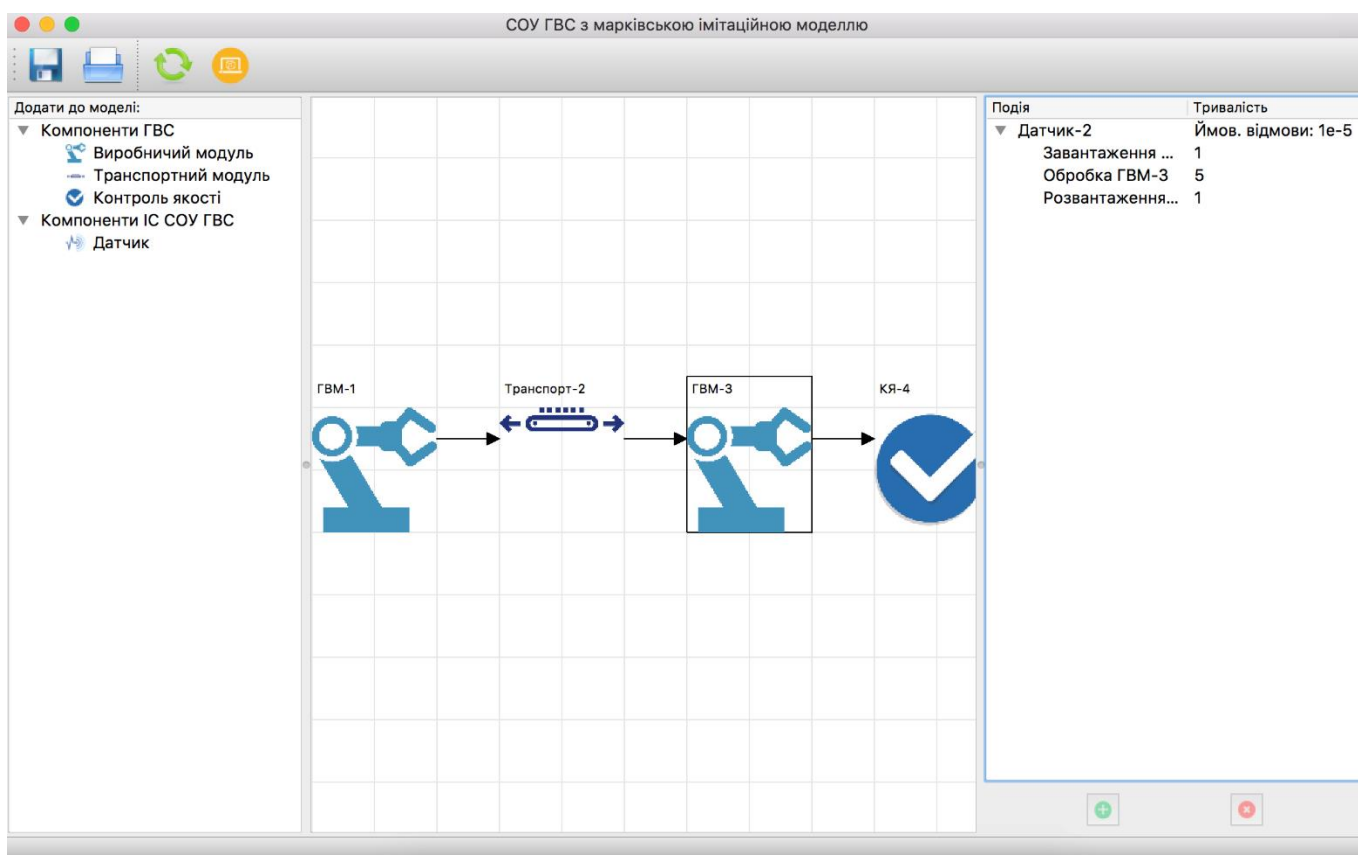
def return_max(self):
    tokens = []
    token = None
    for i in range(len(self.trell)-1,-1,-1):
        if token == None:
            max = None
            guess = None
            for k in self.trell[i][1]:
                if max == None or self.trell[i][1][k][0] >
max:
                    max = self.trell[i][1][k][0]
                    token = self.trell[i][1][k][1]
                    guess = k
            tokens.append(guess)
        else:
            tokens.append(token)
            token = self.trell[i][1][token][1]
    tokens.reverse()
    return tokens

```

ДОДАТОК В

Демонстраційні зображення роботи програмного комплексу для імітаційного моделювання, розробленого в рамках дисертаційної роботи

Конструктор моделі СОУ ГВС



Симулятор роботи моделі СОУ ГВС

Симулятор ланцюжка подій

Технологічне завдання (події):	Датчики:	Налаштування симуляції:
Завантаження ГВМ-1 Обробка ГВМ-1 Розвантаження ГВМ-1 Фіксація деталі Завантаження ГВМ-3 Обробка ГВМ-3 Розвантаження ГВМ-3	Датчик-1 Лічильник конвеєра Датчик-2 Лічильник Контролю	Тривалість: 10000.00 Несправний датчик: <input checked="" type="checkbox"/> Обрати... Час поломки: Тривалість ремонту:

Ланцюжок подій

Модель

Несправний датчик

✖

▶

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан Факультету інформатики та
обчислювальної техніки
Національного технічного
університету України "Київський
політехнічний інститут імені Ігоря



Сікорського
І.І. проф. Павлов О.А.
2016р.

АКТ

впровадження результатів кандидатської дисертації Дзінька Ростислава Ігоровича на тему «Підвищення надійності системи оперативного управління гнучкими виробничими системами».

Ми, що нижче підписалися, в.о. завідуючого кафедрою технічної кібернетики (ТК), кандидат технічних наук, доцент Ткач Михайло Мартинович, кандидат технічних наук, доцент Лісовиченко Олег Іванович та кандидат технічних наук, доцент Остапченко Костянтин Борисович, склали цей акт, який засвідчує, що результати дисертації Дзінька Р.І. були використані при розробці "Мультимедійного комплексу комп'ютерно-інтегрованих засобів дистанційно-віртуального навчання з використанням інтернет-технологій" авторів проф. Ямпольський Л.С., доц. Лісовиченко О.І., проф. Мельничук П.П., ст. викл. Олійник В.В., доц. Остапченко К.Б., доц. Поліщук М.М., проф. Ткач Б.П., доц. Ткач М.М., що був висунутий на здобуття Державної премії України в галузі освіти в номінації "вища освіта".

Мультимедійні підручники із комплексу передані для впровадження у навчальний процес у Технічний університет Софії (Болгарія), Саратовський державний технічний університет та Новосибірський державний технічний університет (Росія), які є учасниками спільного з КПІ ім. Ігоря Сікорського проекту TEMPUS (Подвійний магістерський диплом з автоматизації/мехатроніки країн ЄС - країн партнерів: номер проекту 517138-TEMPUS-1-2011-1-CZ-TEMPUS-JPCR).

Також, результати дослідження Дзінька Р.І., що використані у книгах 5-7 зазначеного мультимедійного комплексу та при розробці лабораторно-дослідних стендів до нього, застосовуються при проведенні лекційних та практичних занять з дисциплін "Діагностика та надійність ГКС", "Сенсорні системи" на кафедрі технічної кібернетики КПІ ім. Ігоря Сікорського (напрямок 6.050201 "Системна інженерія").

В.о. зав. кафедрою ТК

Ткач М.М.

Доцент кафедри ТК

Лісовиченко О.І.

Доцент кафедри ТК

Остапченко К.Б.