

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА “АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ”

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

“ УЗАГАЛЬНЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМИ
ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ ”

ВИКОНАВ: МАРТЕМЯНОВ ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ

КЕРІВНИК: ТАРАН ІГОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Допущений до захисту

Зав. кафедрою АТ

« _____ » листопада 2024 р.

Ю.А.Монастирський

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
Кафедра “ Автомобільний транспорт ”
Освітня програма – Автомобільний транспорт

Затверджую:
Зав. кафедрою АТ
Ю.А.Монастирський
« » вересня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ
МАРТЕМЯНОВУ ОЛЕКСАНДРУ АНАТОЛІЙОВИЧУ**

1. Тема роботи “ *Узагальнення систем керування автоматизованими транспортними засобами* ” затверджена наказом по університету «16» вересня 2024 р. № 837с
2. Термін здачі закінченої роботи «30» листопада 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: *наукові дослідження та публікації за темою роботи.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: *Вступ, Вихідні дані та методи дослідження, Узагальнення результатів дослідження, Висновки, Список використаних джерел*
5. Перелік графічного матеріалу *Графіки та діаграми по результатах досліджень.*
6. Дата видачі завдання - 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів випускної роботи	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Аналіз стану питання</i>	<i>10.09.24 – 01.10.24</i>	
2	<i>Методичні засади</i>	<i>02.10.24 – 20.10.24</i>	
3	<i>Дослідження та аналіз результатів</i>	<i>21.10.24 – 21.11.24</i>	
4	<i>Формулювання висновків</i>	<i>22.11.24 – 24.11.24</i>	
5	<i>Оформлення презентаційної частини</i>	<i>25.11.24 – 30.11.24</i>	

Завдання видав керівник

ТАРАН ІГОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Завдання прийняв

МАРТЕМЯНОВ ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ

Зміст

Зміст.....	3
Анотація	5
1. Вступ.....	7
2. Постановка задач досліджень та розробок.....	11
3. Концепція та актуальність системи обслуговування продуктів.....	14
3.1. Системи обслуговування продуктів.....	14
3.2. Карта процесу системи обслуговування продуктів автоматизованих керуваних транспортних засобів	15
4. Аналіз та узагальнення різних видів стійкості системи.....	17
4.1. Стійкість до недоліків.....	17
4.2. Стійкість до перешкод.....	17
4.3. Стійкість щодо допусків.....	18
4.4. Стійкість до старіння та зносу	19
4.5. Стійкість до атак	20
5. Модель еластичного дизайну.....	23
6. Узагальнення підходів на різних рівнях відповідно до спіральної моделі еластичного дизайну	25
6.1. Гнучкий дизайн — управління вимогами	25
6.2. Стійкий дизайн — виявлення ризиків і оцінка стійкості.....	27
6.3. Стійкий дизайн функціональної та логічної архітектур	29
6.4. Стійкий дизайн абстрактних фізичних архітектур.....	33
6.5. Гнучкий дизайн структури, геометрії та матеріалу.....	36
7. Наочний приклад.....	39
8. Висновки	43
Список літератури	44

Анотація

Автоматизовані керовані транспортні засоби виконують складні транспортні завдання, наприклад, у системах виробництва та зберігання. Останніми роками стало більше уваги до сталого розвитку, оскільки наслідки поточної зміни клімату стали більш очевидними. Інженери інтенсивно шукають шляхи розробки технічних систем, які не тільки є екологічно стійкими, але й стійкими до викликів мінливого клімату та інших умов навколишнього середовища. Виробництво автоматизованих керованих апаратів вимагає значних ресурсів; тому тривалий час експлуатації є бажаним для загальної стійкості. Виконання транспортних завдань вимагає певних процесів, таких як контроль, планування шляху, координація/синхронізація, а також процеси обслуговування та оновлення — останні також дуже важливі для тривалого часу роботи. У цій роботі пропонується розуміти ці процеси як послуги та досліджувати системи обслуговування продуктів за допомогою автоматизованих транспортних засобів. Через їх складність ефективна та безпечна робота таких систем може бути під загрозою через кілька факторів, таких як несправності компонентів, зовнішні атаки та перешкоди. Протягом кількох років як можливі засоби захисту досліджувалися стійкий контроль і інженерія стійкості. У цій роботі пропонується розширення цих двох концепцій на ранні етапи процесів розробки системи, включаючи апаратне забезпечення системи. Це розширення називається стійким дизайном. Основною метою стійкого дизайну є сталість завдяки розширеній зручності використання та запланованим оновленням. Основна мета цієї роботи полягає в тому, щоб забезпечити повне розуміння стійкого дизайну через застосування до систем обслуговування продуктів з автоматизованими керованими транспортними засобами. Основою для цього внеску є обширний огляд літератури та детальний системний аналіз на різних рівнях. Основні результати дослідження включають нові способи застосування методів розробки

продуктів. Пояснення результатів підтверджено за допомогою ілюстративного прикладу на основі системи обслуговування продукту з автоматизованими керованими транспортними засобами.

Ключові слова: стійкість ; пружна конструкція ; автоматизований керований транспортний засіб ; інженерія стійкості ; пружний контроль ; відмовостійкий дизайн ; відмовостійке управління ; міцна конструкція

1. Вступ

Через зростання конкуренції та різноманітності продукції багато компаній-виробників прагнуть розширити гнучкість своїх систем виробництва та логістики. Центральним компонентом таких систем є автоматизовані керовані транспортні засоби (автоматизовані керовані транспортні засоби) [1]. автоматизовані керовані транспортні засоби можуть бути перспективним компонентом гнучких виробничих систем (гнучких виробничих систем), але проектування гнучких виробничих систем і планування процесів у цих гнучких виробничих систем можуть бути надзвичайно складними [2]. Крім того, величезна складність сучасних технічних систем може призвести до зниження надійності, що призведе до потенційно катастрофічних режимів відмови та різного роду проблем безпеки [3]. Беручи до уваги пов'язані ризики, традиційні підходи до оцінки та зменшення ризиків видаються неадекватними. Багатообіцяючі підходи вводять концепцію стійкості до системної інженерії, тобто здатність системи передбачати потенційні збої та встановлювати відповідну поведінку у відповідь [4]. Останніми роками була запропонована інноваційна методологія міркувань про надійність і безпеку, яка називається «пружною інженерією», і вона привернула широкий інтерес [3]. Херінг описує основну мету розробки стійкості як сприяння здатності технічної системи працювати прийнятним чином за наявності події ризику [5]. Поточні дослідження також зосереджені на підходах кількісної оцінки, таких як метрики для вимірювання стійкості [4], аналіз головних компонентів і числові таксономії [3]. Важливою частиною розробки стійкості є стійкий контроль. Стратегії стійкого контролю спрямовані на пом'якшення впливу несподіваних подій, щоб підтримувати загальну роботу технічних систем; в цьому випадку продуктивність може бути знижена [6]. Детектори атак на основі наборів можуть бути застосовані для виявлення ін'єкційних атак і можуть бути об'єднані з теоретико-множинними контролерами в схемі керування, стійкою

до атак [7]]. Щоб увімкнути контроль стійкості до атак повторів, виявлення атак повторів можна досягти за допомогою сигнатур на основі частот [8]. Основна увага як у розробці стійкості, так і в контролі стійкості зосереджена на пізніх стадіях процесів розробки системи. Основним інтересом є такі питання, як геометрія та матеріал технічної системи, що розглядається. Отже, у цій роботі пропонується додати до цих двох концепцій концепцію еластичного дизайну, яка в основному базується на загальному принципі адаптивності. Стійкий дизайн спрямований на створення технічних систем, здатних адаптуватися до мінливих умов навколишнього середовища, які можуть бути викликані, серед іншого, зміною клімату або природними катаклізмами. Основною метою стійкого проектування є підтримка системних і проектувальників у розробці більш стійких технічних систем. 9]).

У цьому контексті стійкий дизайн можна визначити як процес створення інформації, яка дозволяє безпечно та ефективно створювати та експлуатувати технічну систему, навіть якщо існують певні ризики. На сьогоднішній день лише кілька наукових досліджень зосереджено на стійкому дизайні; огляд початкових дослідницьких ініціатив можна знайти в [10]. Варто відзначити дослідження, що стосуються еластичного дизайну для підвищення стійкості споживчих товарів [11]. Ель-Хальвагі та ін. зазначив, що порівняно велика кількість досліджень стосується стійкості інфраструктури, але дуже невелика кількість робіт спрямована на інші сфери, такі як виробничі процеси. Ці автори також перераховують інтеграцію проектування, експлуатації та контролю для стійкості як критичну потребу дослідження та перспективний напрямок [10]. Хауг, з іншого боку, підкреслив важливість стійкого дизайну щодо стійкого проектування та бачить оптимізацію терміну служби технічної системи як основну мету [11]. У сфері стійкості ланцюга поставок центральною метою вважається покращення адаптивності ланцюга поставок у разі несподіваних подій [12]. Вайс [13] розглядає проектування для зміни клімату як центральну мету та розуміє системне мислення як центральний компонент стійкого проектування, оскільки лише міждисциплінарні підходи,

які враховують постійні зміни, здаються придатними. Можна припустити, що стійка конструкція подовжить час роботи автоматизовані керовані транспортні засоби , зменшить експлуатаційні ризики (які можуть знизити ефективність і, серед іншого, знищити ресурси), а також сприятиме стійкому розробці. У цій роботі пропонується розширити перспективу, розглядаючи технічну систему, наприклад, автоматизовані керовані транспортні засоби , разом із послугами, які забезпечують безпечну та ефективну роботу автоматизовані керовані транспортні засоби . Основна увага приділяється поєднанню продукту автоматизовані керовані транспортні засоби з необхідними та додатковими послугами для його роботи та збільшення часу його роботи за рахунок обслуговування та оновлення. Поєднання продуктів і послуг зазвичай називають системою обслуговування продуктів (PSS). Існує багато галузей досліджень, які стосуються важливих аспектів система обслуговування продуктів автоматизовані керовані транспортні засоби . Помітні поточні огляди стосуються моделі прогнозного контролю [14], ризики, пов'язані з такими системами [15], інтеграція з Інтернетом речей (IoT) [16], цифрові двійники для виробничої логістики [17] та розумне управління складськими операціями [18]. Однак можна зробити висновок, що поглиблене дослідження ранніх етапів розробки стійкості систем, які поєднують продукти та послуги, досі не проводилося. Важливо зазначити, що ризики для безпечної, ефективної та стабільної роботи ПСЗ з автоматизовані керовані транспортні засоби можуть виникати з різних джерел. Найпомітнішими джерелами є несправності, допуски, порушення, старіння та знос, а також пошкодження (рис. 1).

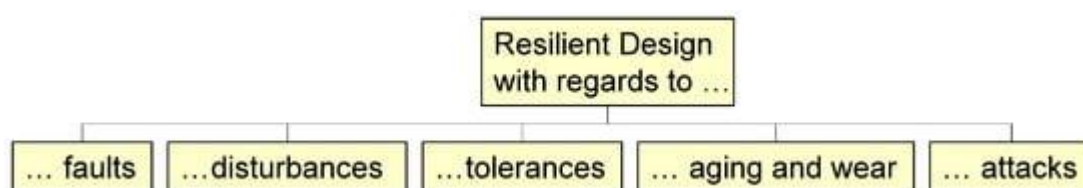


Рисунок 1. Основні аспекти стійкого дизайну — Джерела ризиків. [69].

Усі різні чинники, перелічені на рисунку 1 , можуть знизити продуктивність, довговічність і стійкість системи обслуговування продуктів автоматизовані керовані транспортні засоби або навіть перетворити систему обслуговування продуктів на систему, яка є небезпечною для неї самої, її оточення та людей. Безумовно, бажано підтримувати системних інженерів та інженерів-конструкторів, щоб зменшити чутливість система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів до цих впливів.

2. Постановка задач досліджень та розробок

Основна мета роботи полягає в тому, щоб забезпечити повне розуміння стійкого дизайну за допомогою застосування Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів як базової основи. Дослідницькі зусилля включені в методологію дослідження дизайну (DRM), запропоновану Блессінгом і Чакрабарті [19], яка розрізняє чотири етапи дослідження. Чотири основні етапи дослідження разом із відповідними методами та результатами описані на рисунку 2 .

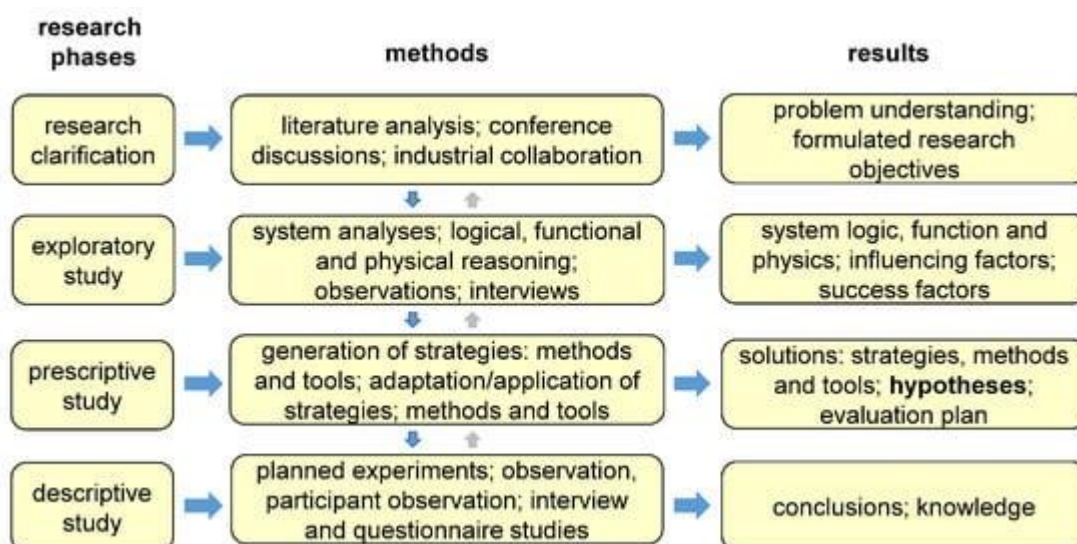


Рисунок 2. Чотири етапи дослідження. [69]

Дане дослідження зосереджено на роз'ясненні проблем, потреб і потенціалу стійкого дизайну системи обслуговування продуктів з автоматизовані керовані транспортні засоби і пропонує нові режими застосування для методів розробки продукту (подібно до дослідницького проекту типу 5, див. [19]) . Основна увага зосереджена на перших трьох фазах дослідження, як показано на рисунку 2 . Можна сформулювати три основні питання дослідження:

- Як концепція стійкого дизайну може підтримувати системних інженерів та інженерів-конструкторів у розробці систем обслуговування продуктів з автоматизованими керованими транспортними засобами?

- Як ранні системні концепції та рішення, а також геометричні, матеріальні та структурні аспекти можуть забезпечити безпечну, ефективну та сталу роботу технічних систем за певних впливів і продовжити тривалість експлуатації?

- Як можна поєднати концепцію стійкого дизайну з розробкою стійкості та стійким контролем і як вона може підтримувати обидві концепції?

Важливо відзначити, що система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів є новою областю дослідження стійкого дизайну, яка поки що не охоплюється іншими дослідженнями, це комбінація досить традиційного продукту з послугами, які можуть підвищити зручність використання та стійкість продукту. Тому такі системи ілюструють багато аспектів стійкого дизайну. Ключові проблеми в досягненні стійкості та стійкості систем автоматизовані керовані транспортні засоби можна знайти в проблемах, які розробники продукту повинні передбачити для різних випадків використання під час експлуатації (які тісно пов'язані з послугами), включаючи необхідність збалансувати знос різні компоненти та необхідність визначення модульної конструкції, яка полегшує ремонт і оновлення. Для кращої стійкості, подовження терміну служби автоматизовані керовані транспортні засоби за рахунок технічного обслуговування та оновлення є важливим. На ранніх стадіях проектування розробникам продукту необхідно зосередити зношені частини, які можна легко замінити, і передбачити можливість заміни ІТ-деталей разом із можливістю додавання додаткових або вдосконалених датчиків і приводів. Розробникам продукту необхідно зосередити зношення в частинах, які можна легко замінити, і необхідно забезпечити можливість заміни ІТ-деталей разом

з можливістю додавання додаткових або вдосконалених датчиків і виконавчих механізмів.

3. Концепція та актуальність системи обслуговування продуктів

3.1. Системи обслуговування продуктів

Основним застосуванням автоматизовані керовані транспортні засоби є транспортування предметів у системі виробництва чи зберігання. По суті, клієнти автоматизовані керовані транспортні засоби хочуть, щоб транспортне завдання було виконане. Таким чином, поєднання продукту автоматизовані керовані транспортні засоби з певними послугами, такими як служби контролю або обслуговування, може бути вигідним як для виробника автоматизовані керовані транспортні засоби, так і для оператора системи виробництва або зберігання. Ключовою перевагою такого поєднання може бути концентрація знань і досвіду. Такі комбінації можна назвати системами обслуговування продукту і вивчали протягом кількох років. Перше визначення система обслуговування продуктів було дано ще в 1999 році Goedkoop та ін.: продукт – це матеріальна сутність, виготовлена для продажу; послуга – це діяльність, яка здійснюється для інших; система – це сукупність елементів та їхніх зв'язків; отже, 20). Поточні дослідження зосереджені на перевірці система обслуговування продуктів [21] і на вивченні підходів до розробки ціннісних пропозицій [22]. Система обслуговування продуктів з автоматизовані керовані транспортні засоби поєднують матеріальний продукт автоматизовані керовані транспортні засоби із послугами, які дозволяють, підтримують або продовжують роботу автоматизовані керовані транспортні засоби або парку автоматизовані керовані транспортні засоби . Оператор виробничого або складського приміщення, по суті, отримує рішення транспортної проблеми. Необхідні та додаткові послуги можуть варіюватися від простих контрольних завдань, планування шляху та координації/синхронізації до обслуговування або навіть оновлення та заміни системи. На рисунку 3 показано основні елементи система обслуговування

продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів , з фізичними продуктами зліва та послугами з правого боку.

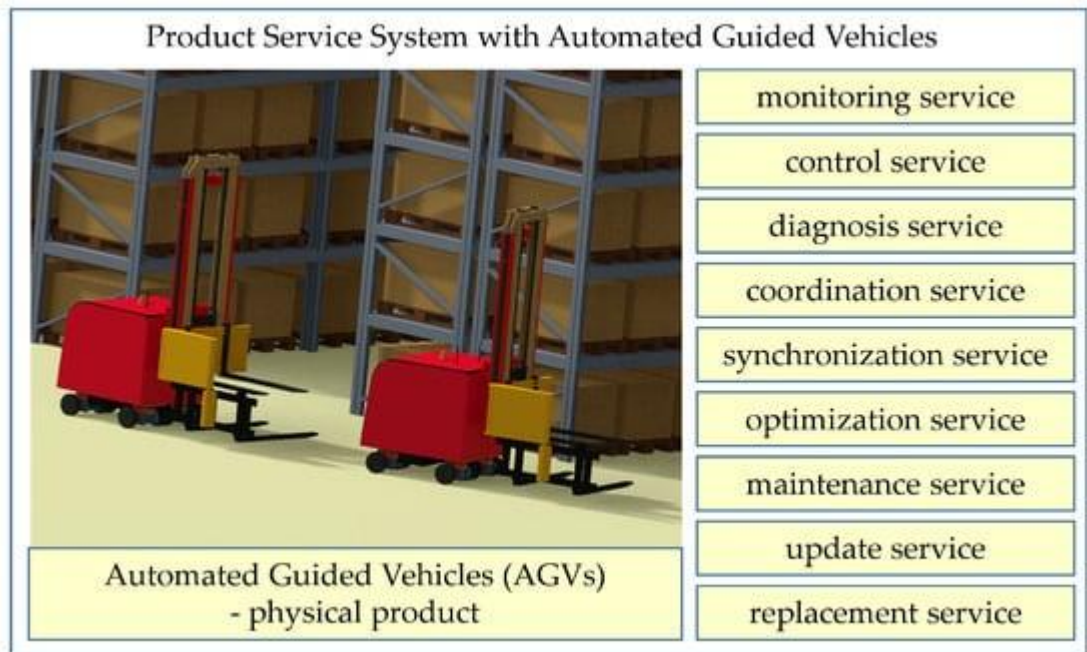


Рисунок 3. Основні елементи система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів , з фізичними продуктами зліва та послугами з правого боку

3.2. Карта процесу системи обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів

У життєвому циклі система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів можна виділити кілька етапів. Часто ці етапи здійснюють різні люди або навіть підприємства. Застосовуються різні моделі, методи та процеси, і важко дати простий огляд. У цьому документі пропонується проста модель для життєвого циклу Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів , як показано на рисунку 4 .

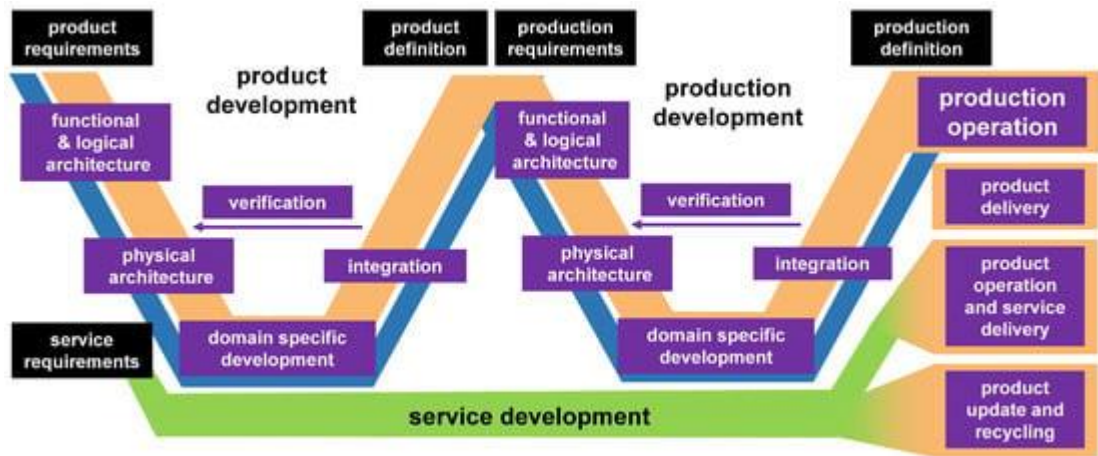


Рисунок 4. Життєвий цикл Системи обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів з важливими етапами розробки продукту, розробки виробництва та експлуатації. [69]

Два основних розділи цієї моделі життєвого циклу Системи обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів базуються на добре відомій V-моделі, яка була, серед іншого, запропонована в настанові 2206 VDI (Verein Deutscher Ingenieure – Асоціація німецьких інженерів) [23 , 24] для розвитку кіберфізичних систем. Важливо відзначити, що як при розробці продукту, так і при розробці виробництва можливі ітераційні цикли; це вказує стрілка підтвердження, спрямована ліворуч. У цій моделі цикл розробки продукту показаний перед циклом розробки виробництва. Важливо зазначити, що модель передбачається розуміти як логічну модель і що обидва цикли можуть і повинні виконуватися одночасно. Також важливо зазначити, що основна увага цієї моделі зосереджена на ранніх стадіях і що стадія функціонування системи представлена лише в одному полі — ця стадія може мати найдовшу тривалість і потребувати найбільших ресурсів, але вже охоплена інженерія стійкості та стійкий контроль.

4. Аналіз та узагальнення різних видів стійкості системи

4.1. Стійкість до недоліків

У більшості дослідницьких спільнот помилки розуміють як ненавмисні відхилення від номінальної поведінки [25]. У технічній системі несправності можуть з'являтися у вигляді несправностей датчика, несправності приводу, несправності процесу, несправності блоку обробки та несправності зв'язку. Зараз існує загальний консенсус, що несправності неминучі в складних технічних системах і що заходи для усунення цих несправностей є важливими [6]. У цій галузі було проведено великий обсяг досліджень, які охоплюють відмовостійке управління (FTC) [26] і відмовостійке проектування (FTD) [27].

4.2. Стійкість до перешкод

Під час виробництва та експлуатації технічних систем не можна уникнути збурень, таких як вібрація, оскільки певні впливи, такі як дисбаланс або електричні коливання, неможливо повністю запобігти. Ці порушення спричиняють відмінності між фактичною роботою та якістю технічних систем та їхньою теоретичною роботою та якістю (див. [28]). Загалом, при розробці систем слід розрізняти різні види причин порушення [28] .] (на етапі експлуатації певні стратегії, такі як використання резервної системи, можуть не вимагати розрізнення між цими видами причин). Одним із можливих відмінностей є розрізнення між матерією, енергією та сигналом, як це також пропонується для функціональної області в систематичній науці про дизайн [29]. Типовим прикладом збурення, спричиненого матерією, є недосконала поверхня, яка призведе до вібрації, коли необхідний відносний рух. Прикладом перешкод, викликаних енергією, є коливання напруги

джерела живлення. Лінія зв'язку датчика, що піддається електричному випромінюванню, є прикладом завад, викликаних сигналом. На рисунку 5 узагальнено загальні джерела завад.

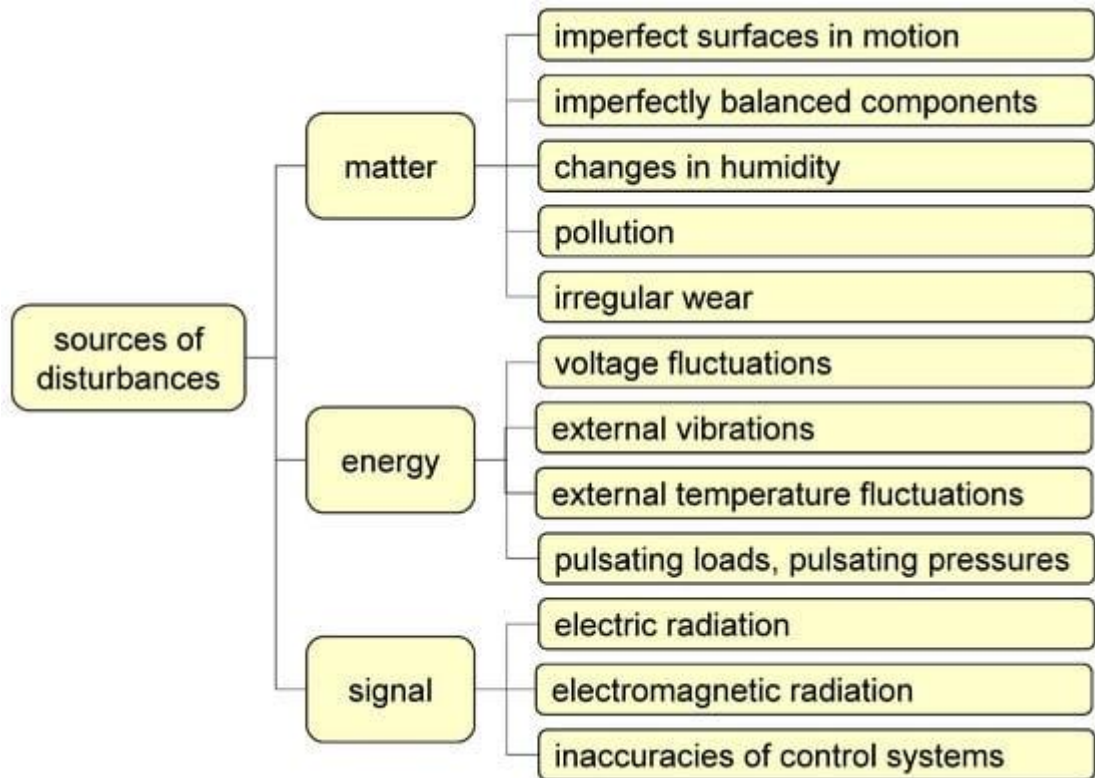


Рисунок 5. Приклади джерел завад. [69]

Конструкція продуктів, які виявляють незначну чутливість до перешкод, зазвичай називається надійною конструкцією. Арвідссон і Гремір визначають надійний дизайн як методологію, яка спрямована на систематичне досягнення нечутливості до шумових факторів [30]. Матіас та ін. підкреслюють, що розгляд надійності має починатися прямо на початку процесу проектування [31]. Можна зробити висновок, що вже існує велика кількість досліджень, які охоплюють надійний дизайн; до цього часу було зроблено мало зусиль для інтеграції цих аспектів у ширше розуміння стійкості та сталості технічних систем.

4.3. Стійкість щодо допусків

Надійна конструкція, як описано в попередньому розділі, може зробити функціональну продуктивність виробу нечутливою до таких невизначеностей, як перешкоди; Чжан та ін. запропонували розширення допусків [32]. Фенг та ін. зазначив, що надійний дизайн допуску є важливою технікою, яка може призвести до постійного покращення якості продуктів, а також процесів [33] .]. Загалом, допуск описує допустиме або наявне відхилення характеристики технічного продукту. Найбільш відомі допуски - це допуски на розміри механічних компонентів, але допуски на форму та положення також можуть відігравати важливу роль. Важливо зазначити, що документація допусків у технічних кресленнях наразі зазнає змін у бік інтегрованої геометричної специфікації продукту (GPS); ця система для специфікації геометрії заготовки є вдосконаленим інженерним інструментом [34]. Чжан та ін. запропонували надійний підхід до проектування допусків для моделювання зв'язків між функціональними характеристиками, вартістю, параметрами конструкції та допусками [32]. На основі цього дослідження Thomitzek et al. запропонували метод дослідження впливу допусків продукту на наступні етапи процесу та характеристики кінцевого продукту з метою прогнозування корисних діапазонів допуску. Ці діапазони призначені для використання для вибору виробничих процесів лише з необхідною точністю, оскільки надмірно висока точність зазвичай викликає високі витрати на придбання без позитивного ефекту, тоді як низька точність призводить до недостатньої продуктивності продукту [35] . Часто систематична мета обробки немінучих допусків розглядається як невід'ємна частина надійного дизайну; отже, розумно також розглядати його як невід'ємну частину більш універсальної концепції стійкого дизайну.

4.4. Стійкість до старіння та зносу

Знос технічних систем зазвичай присутній лише на кількох поверхнях, але може призвести до виходу з ладу всієї системи та необхідності ранньої заміни, якщо зношуються компоненти, які не можна легко замінити. Знос

технічних систем часто відбувається на поверхнях з відносним рухом, а також на поверхнях розділу з високими електричними струмами та всередині провідників з високими електричними струмами. Старіння та знос також можуть бути спричинені хімічними процесами, такими як корозія та окислення. Основними причинами старіння є пульсуючі навантаження та пульсуючий тиск. Подібно до порушень і допусків, старіння та знос можуть серйозно змінити продуктивність продукту. Старіння і знос можуть призвести до позапланових простоїв технічних систем і до передчасної заміни системи. Запобігання цим простоям є основною метою так званого прогнозного технічного обслуговування. Однак прогнозне обслуговування вимагає глибоких знань про поточний стан компонентів системи з точки зору зносу та старіння. Значна частина досліджень зосереджена на оцінці залишкового терміну корисного використання (RUL) компонентів системи [36]. У Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів знання RUL можуть бути використані для планування діяльності з прогнозованого технічного обслуговування, а також для керування системою таким чином, щоб продовжити час роботи всієї системи. Це можливо, наприклад, якщо резервні елементи отримують менше робочого навантаження [9]. Оскільки час роботи технічної системи збільшується, такі можливості також можна розуміти як аспекти стійкості. Такі можливості існують лише для певних конфігурацій системи. Доцільно об'єднати проблеми старіння та зношування, а також варіанти зменшення їх наслідків у цілісний стійкий дизайн — це може значно сприяти екологічному розробці.

4.5. Стійкість до атак

За останній рік було зареєстровано величезну кількість кібератак, які загрожують технічним системам, наприклад, комп'ютерний хробак Stuxnet [37]. Кілька досліджень досліджували природу таких нападів [38]. Для повного розуміння цих атак підійде системний погляд (рис. 6).

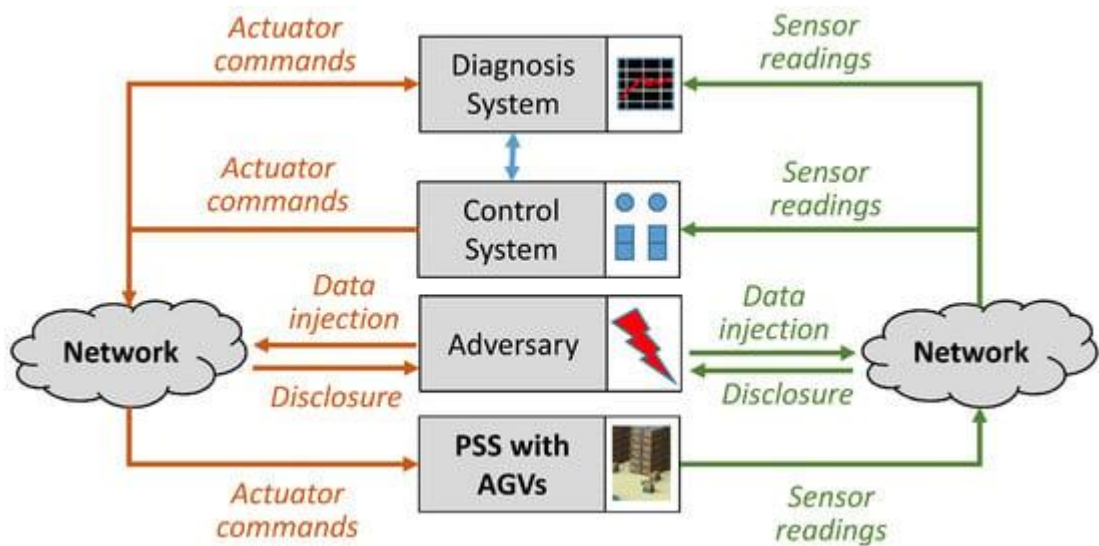


Рисунок 6. Системна модель зовнішньої атаки. [69]

, зображене на рисунку 6 (на основі попередніх міркувань і зображень [38 , 39]), було розширено, щоб включити Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів . У нижній частині рисунка 6 видно Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів . Ця система отримує команди приводу, наприклад, команди приводного двигуна або двигуна рульового керування, які генеруються системою керування. Автоматизовані керовані транспортні засоби надсилають показання датчиків, наприклад, зі своїх одометрів, ультразвукових датчиків або камер, до системи керування. Зазвичай ці дані також надсилаються в систему діагностики, основною метою якої є виявлення несправностей. Сьогодні розподілені системи поширені з кількох причин [40]. Мережеве з'єднання між елементами, перерахованими вище, може бути використане зловмисником або для розкриття даних, або, що ще гірше, для введення неправильних або змінених даних. Атака, здійснена супротивником, буде успішною, лише якщо супротивник має знання про Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів . Беручи до уваги згадані аспекти, можна отримати тривимірну модель (рис. 7).

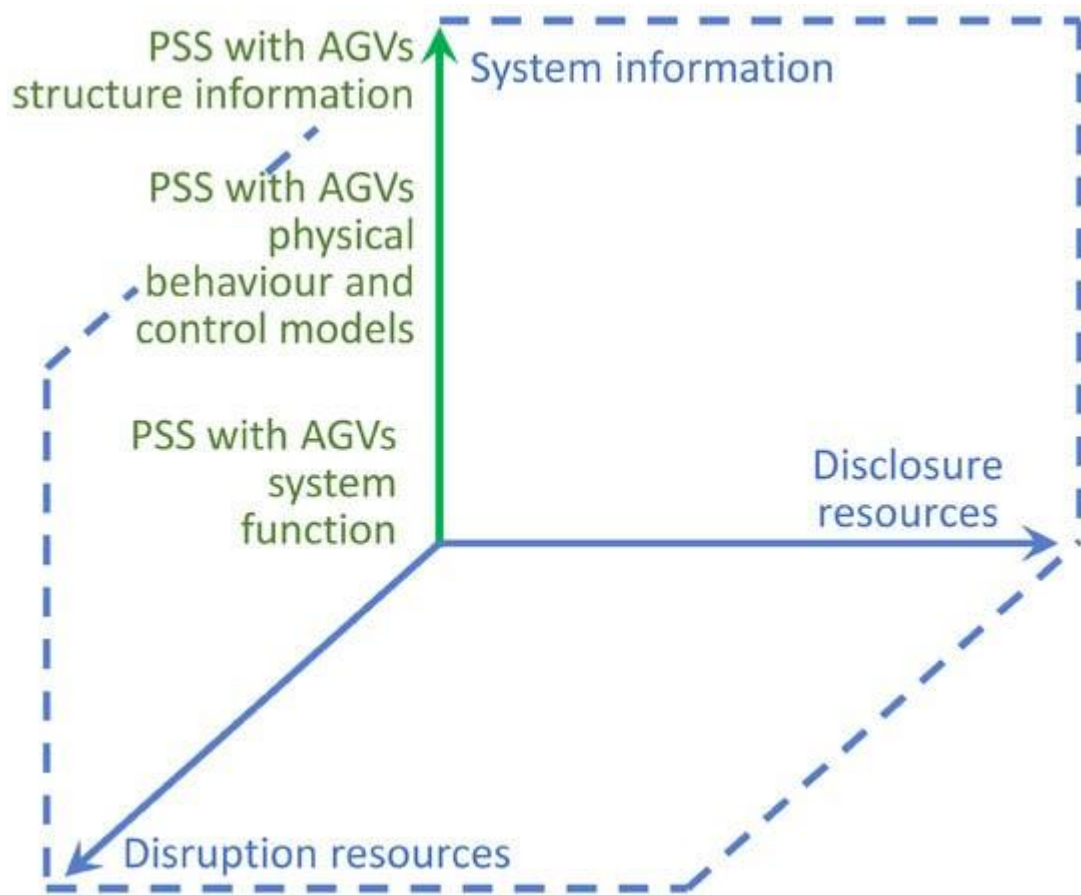


Рисунок 7. Три виміри для оцінки серйозності зовнішньої атаки. [69]

Подання, зображене на рисунку 7 (на основі попередніх міркувань і зображень [38 , 39]), було розширено, щоб включити Систему обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів . Ресурси розкриття стосуються можливостей зломисника дізнатися щось про систему, тобто отримати інформацію датчиків, тоді як ресурси зриву стосуються можливостей щось змінити в системі, тобто надіслати інформацію виконавчим механізмам або змінити інформацію для виконавчих механізмів. Очевидно, що підходи, спрямовані на усунення ресурсів для розкриття та інших способів отримання системної інформації, таких як шпигунство, і на усунення джерел збоїв, підвищують стійкість. Подальші міркування стосуються дизайну системи та компонентів [40], які, отже, також повинні бути інтегровані в цілісний стійкий дизайн.

5. Модель еластичного дизайну

У цьому розділі представлено модель еластичного дизайну, яка базується на спіральній моделі проектування стійкості. Основною метою розробки стійкості є розвиток можливостей технічних систем для запобігання руйнівним подіям (DE), захисту від цих DE, здатності реагувати на ці DE або можливості відновлення після цих DE [5] .]. Центральним елементом проектування стійкості є виконання аналізу ризиків — вони також включені в запропоновану спіральну модель стійкого дизайну (рис. 8).

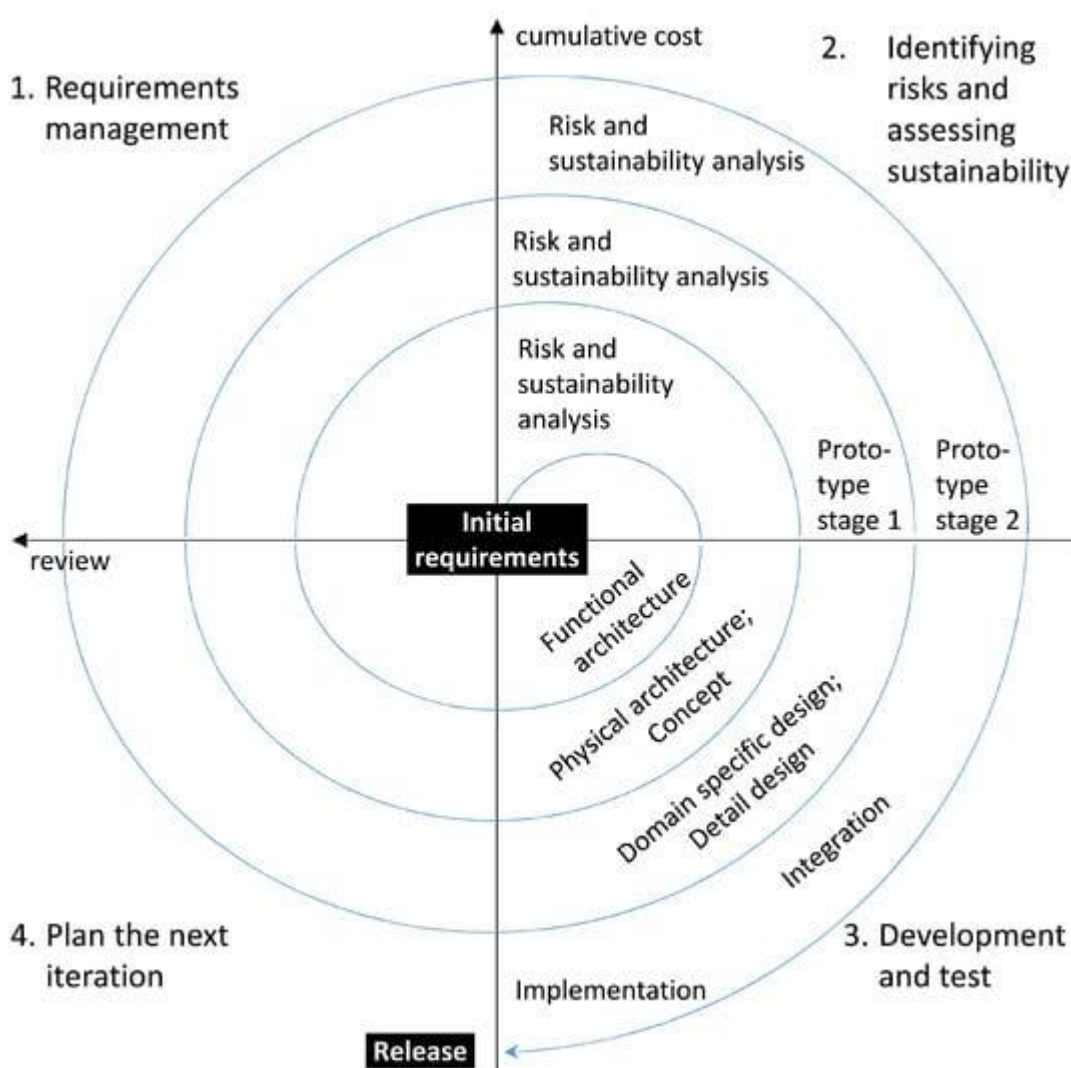


Рисунок 8. Спіральна модель пружного дизайну. [69]

Відправною точкою цієї моделі є оцінка початкових вимог. Передбачається, що початковий набір вимог уже доступний на початку проекту (наприклад, як задано замовником). З цього моменту система обслуговування продуктів з дизайном автоматизовані керовані транспортні засоби розробляються до його випуску. Різні етапи базуються на моделях, які описують рівень абстракції технічних систем: функціональна архітектура, фізична архітектура, предметно-спеціальний дизайн та інтеграція [23 , 29]. На кожному етапі виконуються різні аспекти («управління вимогами», «виявлення ризиків та оцінка стійкості», «розробка та тестування», а також «планування наступної ітерації»). Важливо відзначити, що модель, показана на рисунку 8 є іншим зображенням двох циклів V-моделі на рисунку 4 . Однак обидва уявлення зосереджені на різних аспектах процесу, і обидва мають свої особливі переваги. Обговорення основних елементів пружної конструкції відбувається за спіральною моделлю, показаною на рисунку 8 .

6. Узагальнення підходів на різних рівнях відповідно до спіральної моделі еластичного дизайну

6.1. Гнучкий дизайн — управління вимогами

Основна ідея управління вимогами полягає в тому, що свідоме ставлення до цілей системи обслуговування продуктів може запобігти нереалізації важливих функціональних можливостей, процесів і характеристик, а також розширити можливості для продовження терміну служби. Обов'язковим є включення цілей сталого розвитку до вимог, і слід враховувати довгострокові наслідки, а також системний характер вимог до сталого розвитку [41]. Управління вимогами можна розуміти як систематичний підхід до управління вимогами з метою визначення відповідних вимог, досягнення консенсусу, розуміння та документування побажань і потреб зацікавлених сторін, а також управління вимогами для мінімізації ризику того, що система не буде виконувати ці бажання та потреби [42]. Це можна застосувати як до фізичної, так і до віртуальної частин Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів ; фактично, обома частинами слід керувати в тісній координації. Для визначення вимог можна застосувати кілька методів, наприклад, аналіз зацікавлених сторін, історії користувачів і прототипи [43]. Для класифікації вимог було запропоновано декілька таксономій [42]. Крім того, для документування вимог доцільно зв'язати вимоги зі структурами технічної системи та її супутніми процесами [42]. Ці аспекти узагальнено на рисунку 9 .

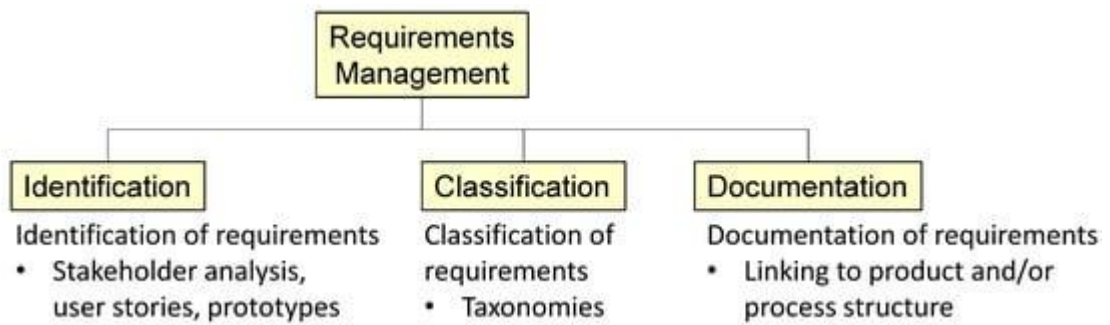


Рисунок 9. Основні аспекти управління вимогами. [69]

Загалом, для складних систем обслуговування продуктів доцільно розрізняти рівні вимог. Розумне розрізнення починається з вимог зацікавлених сторін високого рівня й опускається до конкретних вимог до компонентів, як фізичних, так і віртуальних (процес/сервіс). Це можна зобразити у вигляді V-моделі (див. [23]); одна можливість показана на рисунку 10 (на основі ілюстрації L. Bus, Essam sro, Praha, Чеська Республіка [44]).

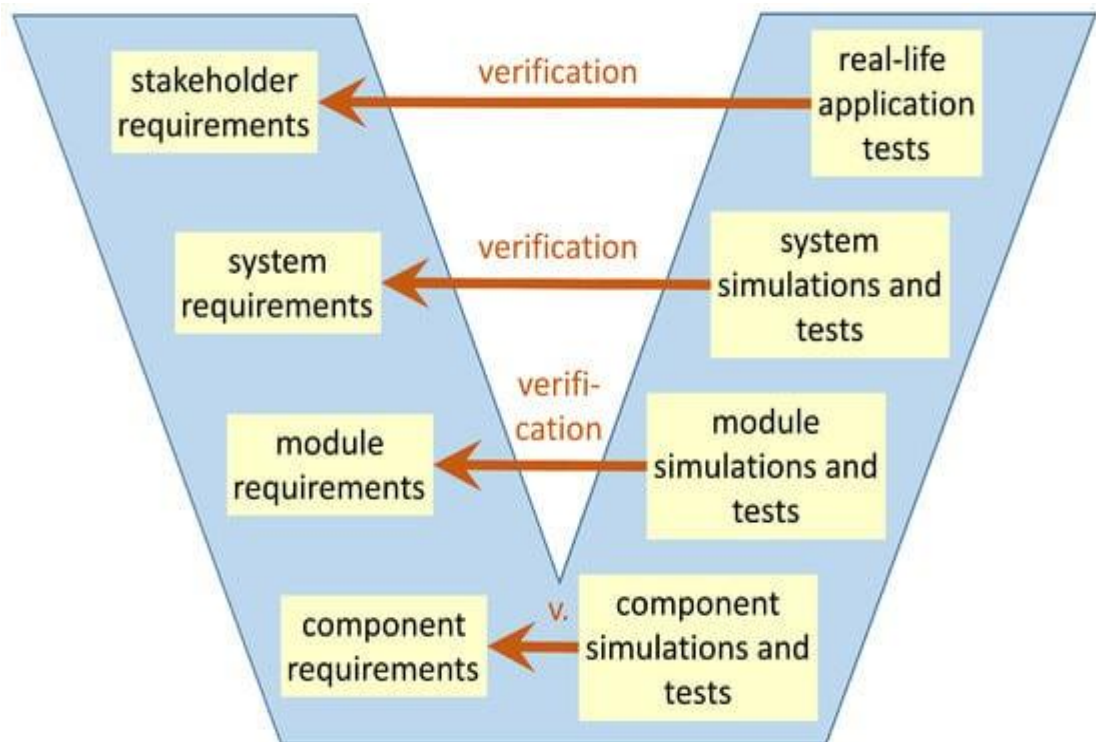


Рисунок 10. Вимоги та рівні перевірки. [69]

Як і для всіх завдань проектування, для ефективного стійкого проектування дуже важливо забезпечити раннє та інтенсивне уточнення вимог на всіх рівнях, як показано на рисунку 10. Крім того, на всіх етапах проектування стійкості доцільно перевіряти стійкість і стійкість. Для цього можна застосувати метрики для вимірювання стійкості [4], а також аналіз головних компонентів і числову таксономію [3]. Підсумовуючи, управління вимогами до стійкого дизайну характеризується включенням цілей щодо стійкості та стійкості та перевіркою на всіх рівнях конкретизації продукту для забезпечення виконання цих цілей.

6.2. Стійкий дизайн — виявлення ризиків і оцінка стійкості

Одним з основних кроків у стійкому проектуванні є ідентифікація ризиків і одночасна оцінка стійкості (див. рисунок 8). Ризики можуть бути пов'язані з несправностями, допусками, порушеннями, старінням/зносом або пошкодженнями. Для систематичної ідентифікації ризиків можна застосувати декілька методів та інструментів. У більшості компаній інструкції з якості вимагають застосування аналізу відмов і ефектів (FMEA), принаймні для фізичних продуктів. Загалом, цей метод (подібно до аналізу дерева відмов (FTA)) можна застосувати до віртуальних компонентів Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів. На процес управління автоматизовані керовані транспортні засоби може вплинути зовнішня атака, і дослідження наслідків може бути розумним і плідним. Часто інструкції з безпеки вимагають аналізу ризиків, наприклад, настанова щодо обладнання ISO 12100 [45]. Знову ж таки, ці аналізи зараз зосереджені навколо фізичних компонентів, але, теоретично, можуть бути розширені до процесів у Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів. У такому аналізі, з методичною підтримкою або без неї, можливе розрізнення між індуктивним і дедуктивним міркуванням [5].]; індуктивне міркування досліджує, яким чином компоненти або процеси нижнього рівня можуть

відхилятися від номінальної поведінки, тоді як дедуктивне міркування досліджує, як система верхнього рівня може вийти з ладу та які ризики можуть спричинити цей збій. Цілком імовірно, що поєднання обох типів аргументації призведе до вичерпної оцінки можливих ризиків. Деякі ідентифіковані ризики призведуть до більш небезпечних подій, а інші – до менш небезпечних подій або навіть лише до невеликих відхилень від номінальної поведінки. Так само деякі наслідки ризиків будуть проявлятися досить часто, тоді як поява інших подій дуже мало ймовірна. Отже, доцільно, щоб пріоритетність ризиків ґрунтувалася на схемі оцінки, подібній до FMEA (див., наприклад, [46]). У такій схемі три компоненти перемножуються, щоб обчислити число пріоритету (див. [47]):

- Серйозність (S): серйозність оцінює можливі наслідки певного ризику для Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів , операторами системи обслуговування продуктів та клієнтами системи обслуговування продуктів . Ступінь тяжкості можна оцінити за 10-бальною шкалою від 1 (немає ефекту) до 10 (небезпечний ефект).

- Виникнення (O): виникнення оцінює ймовірність наслідків від певного ризику. Подію можна оцінити кількісно за 10-бальною шкалою від 1 (наслідки ризику дуже мало ймовірні, немає історії збоїв) до 10 (наслідки ризику майже певні).

- Виявлення (D): виявлення оцінює ймовірність виявити наслідки ризику до того, як вони дадуть ефект (протягом усіх етапів життя системи від концепції до проектування, тестування, виробництва, тестування наприкінці лінії та експлуатації до переробки (див. рисунок 4) .)). Виявлення кількісно оцінюється за 10-бальною шкалою від 1 (перевірені засоби виявлення для виявлення, які вже доступні на етапі розробки концепції) до 10 (засоби виявлення відсутні).

На додаток до FMEA та FTA, інші методи можуть бути прийняті для визначення можливих та ймовірних ризиків, такі як аналіз дерева подій

(ETA), режими відмови, наслідки та аналіз критичності (FMECA) [48], а також комбінації FTA та FMEA [49] .]. Тим не менш, ідентифікація та пріоритезація ризиків є важливим кроком у стійкому проектуванні, який вимагає як методичної підтримки, як зазначено вище, так і досвідчених інженерів. Крім того, ефективне та ефективне управління знаннями може бути проблемою та викликом. Для оцінки стійкості доступний великий обсяг знань (для огляду відповідних досліджень див., наприклад, [50 , 51 , 52]). Аван та ін. [52] вказують на те, що перспективним напрямком майбутніх досліджень, особливо щодо виробничих фірм, є врахування інтересів зовнішніх зацікавлених сторін і прийняття точки зору цих зацікавлених сторін. Для виробників автоматизованих керованих транспортних засобів інтеграція процесів експлуатації, обслуговування та оновлення може бути важливою для забезпечення інтересів зовнішніх зацікавлених сторін. Schöggli та ін. [51] дійшли висновку, що застосування інтегрованих методів оцінки стійкості може бути застосоване для сприяння процесам прийняття стратегічних рішень з точки зору сталості, що також відображено в моделі на рисунку 8. Вони також прийшли до висновку, що видається життєво важливим прагнути до інтеграції матеріальних, стратегічних і споживчих перспектив, тому що лише шляхом поєднання цих трьох перспектив можна реалізувати принципи стійкості [51] .

6.3. Стійкий дизайн функціональної та логічної архітектур

На функціональному рівні найважливіші засоби підвищення стійкості базуються на механізмах стійкості (рис. 11).

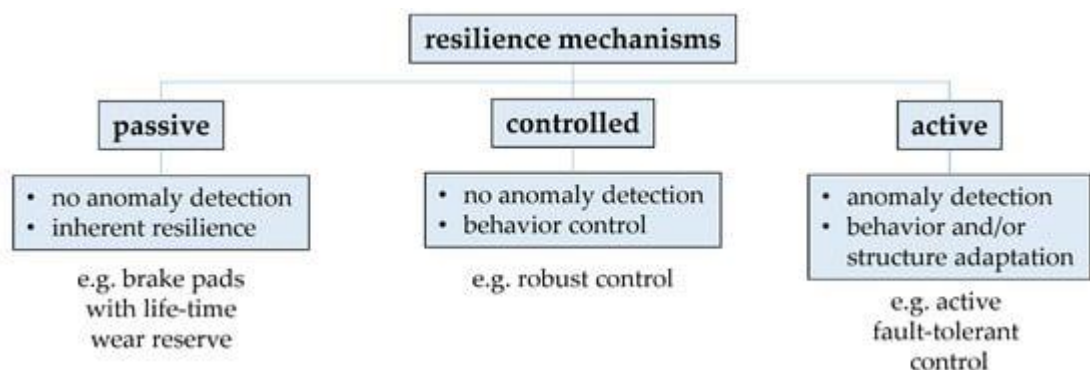


Рисунок 11. Механізми стійкості. [69]

З функціональної точки зору, найпростішими механізмами є *пасивні* механізми, які не залежать від виявлення аномалій і які не змінюють поведінку системи. Одним із прикладів є гальмівні колодки з резервуаром зносу протягом усього життя. Деякі механізми не покладаються на виявлення аномалій, а використовують цикл керування, який прагне змінити поведінку системи таким чином, щоб досягти заданих цілей. У техніці управління цей механізм називається надійним керуванням [53]. Використовуючи цей вид механізму, можна досягти керування систем, які нечутливі до змін параметрів, зовнішніх збурень і невідповідностей моделі [53]. Ще вищий потенціал покращення пов'язаний з активним механізмом. У цьому випадку система діагностики виявляє аномалії та дозволяє змінювати структуру та поведінку системи. Одним із прикладів є активне відмовостійке керування (див., наприклад, [25]. Для цього типу механізму зазвичай потрібні аналітичні моделі підсистем системи обслуговування продуктів . Посилаються на складні багатодоменні імітаційні моделі, які дозволяють двонаправлений обмін даними як цифрові двійники [54]. Застосування цифрових близнюків може підтримувати багато функцій, які підвищують стійкість системи обслуговування продуктів і можуть уможливити обслуговування Система обслуговування продуктів автоматизованих керування транспортних засобів , наприклад планування та синхронізацію [55]. На функціональному рівні кілька методів моделювання мають було запропоновано, особливо в області фізичних технічних систем [47 , 56]. Одним із центральних зауважень цієї роботи є те, що такі моделі також підходять для моделювання системи обслуговування продуктів . Це буде продемонстровано за допомогою двох типів функціональних моделей: функціональних моделей, орієнтованих на відношення, і функціональних моделей, орієнтованих на потік. Модель функції, орієнтованої на відношення, показана на рисунку 12 .

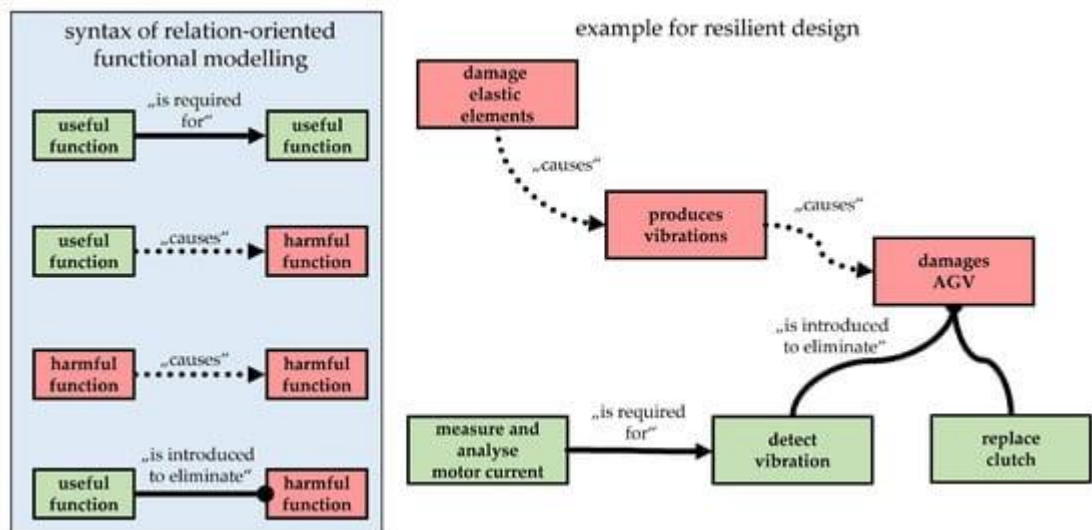


Рисунок 12. Модель реляційно-орієнтованої функції. [69]

Синя рамка зліва на рисунку 12 описує синтаксис цього виду моделювання функцій (на основі [57]), а праворуч показаний приклад стійкого дизайну. рисунок 12 описує пружну конструкцію за допомогою застосування безвідмовної штифтової муфти. Такі муфти розроблені особливим чином, що забезпечує передачу крутного моменту навіть при руйнуванні внутрішніх гнучких елементів. У цьому випадку додаткові вібрації будуть результатом пошкодження пружних елементів. Ці вібрації можна використовувати для виявлення несправності до того, як виникнуть серйозні наслідки. Однак в автоматизованих системах жодна людина не зможе виявити ці вібрації. Однією з можливостей можуть бути спеціальні датчики вібрації, але вони можуть призвести до збільшення складності системи та збільшення вартості. Однією з перспективних можливостей може бути аналіз сигналу струму двигуна (MCSA), як показано на рисунку 12 . Цей вид аналізу інтенсивно досліджувався; прикладом є нейронні мережі гіперграфа [58]. Інша форма функціональної моделі — потоково-орієнтована функціональна модель — зображена на рисунку 13 .

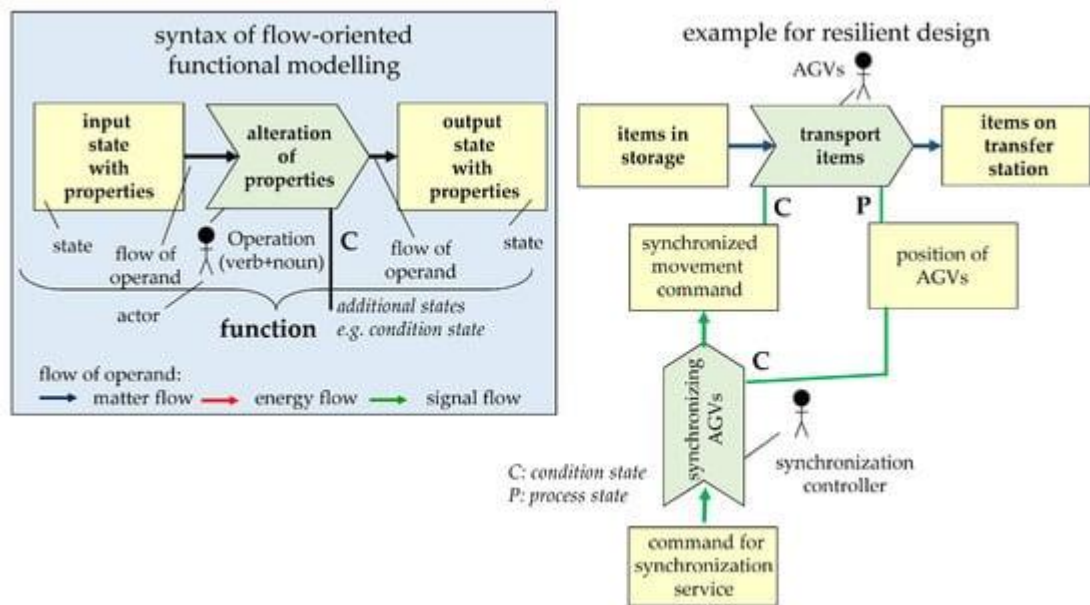


Рисунок 13. Потоково-орієнтована функціональна модель. [69]

Синя рамка зліва на рисунку 13 описує синтаксис цього типу моделювання функцій. Синтаксис базується на функціональній моделі, запропонованій Ерленшпілем і Меркаммом [59]. Операції, наприклад зміни операнда, показані стрілками і зазвичай описуються дієсловом та іменником. У цьому синтаксисі також включено стан операндів, наприклад, стан до і після операції. Можна виділити різні типи потоку операндів (див. також [29 , 56]): речовина, енергія та сигнал. Потік сигналів відображає основні частини послуг. Крім того, допоміжні потоки операндів можуть бути підключені через допоміжні стани. Для допоміжних станів можна виділити три види: стани умов, стани процесу та додаткові стани. Стани умов описують стани операндів, які необхідні для реалізації операції. Стани процесу описують стани допоміжних операндів, на які впливає операція. Для опису відносин еквівалентності іноді необхідні додаткові стани. У запропонованому синтаксисі також можуть бути показані актори, щоб підвищити ясність і полегшити розуміння функціональної моделі; актори є носіями функції, тобто сутностями, які реалізують операцію. Наведений приклад описує транспортне завдання в рамках Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів , разом із супутньою

послугою синхронізації. Зрозуміло, як система керування синхронізацією системи обслуговування продуктів може надавати синхронізовані команди руху, але їй потрібна інформація про позицію від автоматизованих керованих транспортних засобів. За допомогою функціональних моделей можна описати зв'язок між елементами фізичної системи та послугами, і, завдяки цьому, підтримати інженерів у прагненні створити стійкий дизайн.

6.4. Стійкий дизайн абстрактних фізичних архітектур

Загалом можна виділити п'ять точок зору абстрактної фізики: перспектива, орієнтована на явища, перспектива, орієнтована на поведінку, перспектива, орієнтована на інтерфейс, перспектива, орієнтована на логіку, і перспектива, орієнтована на контроль [60]. Огляд цих перспектив стосовно моделі пружного дизайну, зображеної на рисунку 8, наведено на рисунку 14.

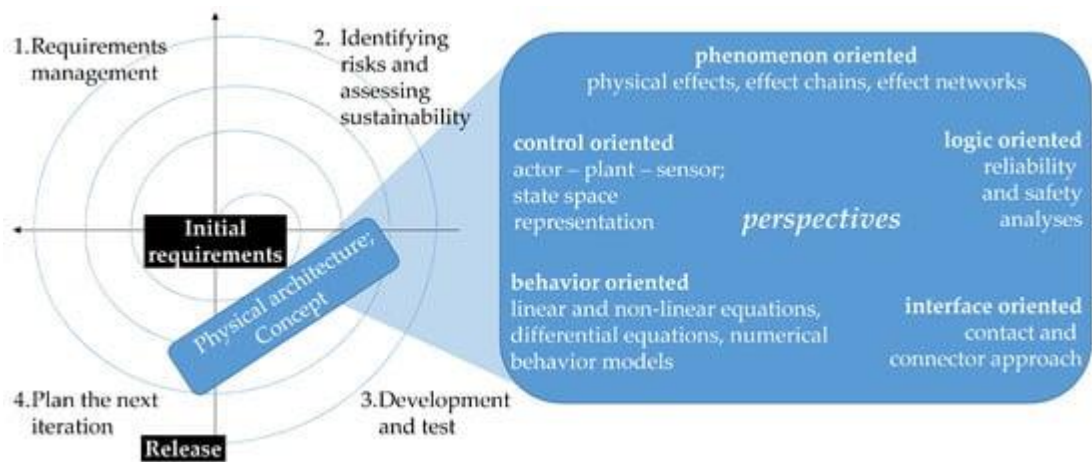


Рисунок 14. Перспективи абстрактної фізики. [69]

Більшість перспектив, показаних на рисунку 14, тісно пов'язані з фізичними продуктами. Однак поведінково-орієнтована перспектива, яка містить лінійні та нелінійні рівняння та диференціальні рівняння, а також числові моделі поведінки [60], також можна застосовувати для системи обслуговування продуктів (і, отже, для Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів), оскільки перспектива

часу/швидкості/прискорення також може бути важливою для аналізу та оптимізації послуг. Одним з очевидних прикладів може бути синхронізація кількох автоматизованих керованих транспортних засобів у вузькому коридорі будівлі для зберігання; для такої обмеженої просторової координації детальне знання поточних і фактичних швидкостей було б дуже корисним. Чжен та ін. запропонували використання певних методів оптимізації для спільної оптимізації кількох доменів автономної системи для пошуку оптимальної архітектури як апаратного, так і програмного забезпечення [61]. Кілька дослідників запропонували методи багатодоменого спільного моделювання, які базуються на стандарті функціонального макетного інтерфейсу (FMI) (наприклад, [62 , 63) .]. Для цього рівня абстракції можна зробити висновок, що спільне моделювання поведінки технічних систем разом із супутніми послугами було б багатообіцяючим підходом, але для використання цієї можливості необхідні подальші дослідження. У цьому контексті спільне моделювання розуміється як одночасне та взаємозалежне моделювання поведінки технічної системи в різних областях. Іншими багатообіцяючими підходами, які часто також називають спільним моделюванням, є одночасне моделювання різних об'єктів, наприклад, робототехнічних рук, а також комбінація різних інструментів моделювання [64], а також зв'язок із людино-машинними інтерфейсами (НМІ) , як-от віртуальна реальність (VR) [65]. З метою стійкого проектування всі види одночасних і взаємозалежних підходів до моделювання можна вважати відповідними, оскільки вони мають потенціал для глибшого дослідження поведінки системи. Крім того, можливі комбіновані процеси верифікації, що дозволяє перевіряти відповідність для системи обслуговування продуктів .

Інша перспектива, яка є цікавою в контексті системи обслуговування продуктів , — це перспектива, орієнтована на управління, яка використовує моделі актор-процес-сенсор і представлення простору станів [60]. Для Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів вигідні послуги гарантуватимуть, що у випадку

автоматизовані керовані транспортні засоби з різними станами заряду (SOC) або працездатності (SOH) робоче навантаження розподіляється на різні автоматизовані керовані транспортні засоби оптимальним чином. У попередніх дослідженнях кооперативні резервні автоматизовані керовані транспортні засоби були в центрі уваги, і була розроблена схема прогнозного контролю моделі з урахуванням здоров'я, яка змогла збалансувати операційне навантаження — діяльність — автоматизовані керовані транспортні засоби залежно від їх SOC та/або SOH [66] . На рисунку 15 показаний приклад результату.

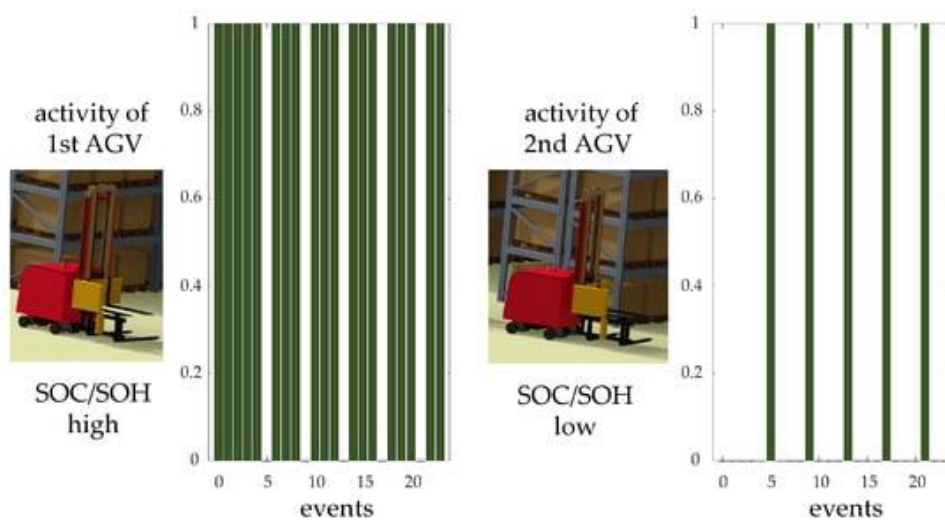


Рисунок 15. Результат планування з урахуванням здоров'я. [69]

У цьому прикладі батарея 1 матиме як вищі (кращі) SOC, так і SOH. Таким чином, служба планування завдань призначить цьому об'єкту більшість транспортних операцій. Перспектива, орієнтована на керування, може бути важливою та плідною для оптимізації послуг у Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів .

Нарешті, логічно-орієнтована перспектива також може бути корисною для системних інженерів та інженерів, які прагнуть реалізувати більш стійкі система обслуговування продуктів за допомогою автоматизовані керовані транспортні засоби . Застосовуючи такі методи, як FTA (див. також розділ 6.2), можна провести аналіз надійності та безпеки; це можливо як для

фізичних продуктів (АВТОМАТИЗОВАНІ КЕРОВАНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ), так і для віртуальних продуктів (послуг), оскільки логічний домен не обмежений одним із цих доменів.

6.5. Гнучкий дизайн структури, геометрії та матеріалу

На конкретному рівні можливі певні конструктивні рішення, які підвищують стійкість. Одним із основних принципів є *відокремлення*. Можливим заходом для подовження часу роботи може бути концентрація зносу певних компонентів, які можна легко замінити під час технічного обслуговування. Цей же принцип можна застосувати і до служби контролю. можуть мати власну спеціальну систему керування; таким чином, можливість впливу ззовні (наприклад, від зовнішніх атак) буде обмежена. Іншим основоположним принципом може бути обмеження. Цей принцип можна застосувати до швидкості об'єкту. Часто доцільно обмежити цю швидкість на локальному низькоконтрольному рівні та дозволити зміни лише через режим спеціального налаштування, захищений ключем. Ще один основний принцип захисту. На автоматизовані керовані транспортні засоби можуть бути присутніми еластичні бампери, які захищають елементи, наприклад, датчики. Добре відомим принципом стійкості є надмірність. На верхньому рівні Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів стійкість можна збільшити, якщо присутній більше ніж один об'єкт, який може виконувати певне завдання. На нижчих рівнях резервування також може бути реалізовано за допомогою кількох датчиків або кількох приводів. Іншими принципами є перекриття датчиків і надмірне спрацьовування [9]. Перекриття датчиків означає, що завдяки своєму розташуванню датчики вимірюють однакові області явища; різниця між показаннями датчиків вказуватиме на несправність принаймні одного з датчиків. Цю інформацію можна використовувати, наприклад, для заміни інформації датчика інформацією з віртуального датчика або для безпечного вимкнення системи. За принципом надмірного спрацьовування

передбачається наявність сильніших приводів, ніж необхідно, або більшої кількості приводів, ніж необхідно. Очевидно, що шанси врахувати наслідки певних ризиків є кращими, якщо приводи не завантажені в повному обсязі в нормальній роботі.

Крім того, на цьому конкретному рівні можна застосовувати кілька алгоритмів, методів та інструментів у загальній сфері надійного проектування та надійного керування (див. Розділ 4 і Розділ 6.3). Підсумок показано на рисунку 16 .

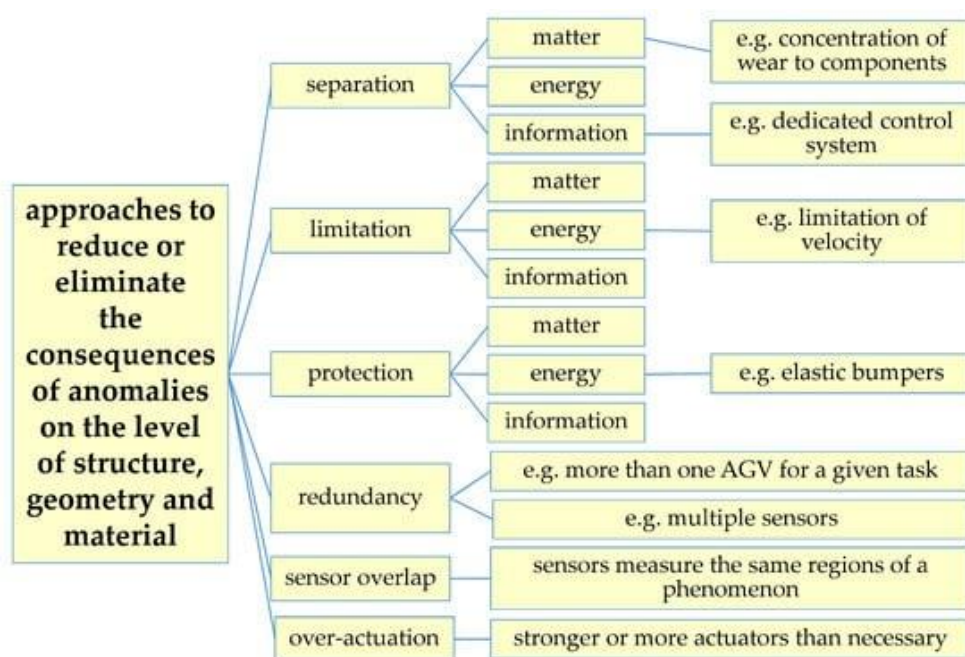


Рисунок 16. Підходи до зменшення або усунення наслідків аномалій на найконкретнішому рівні. [69]

Підсумовуючи, основні можливості для досягнення стійкості та стійкості на найконкретнішому рівні можна знайти в балансуванні зносу різних компонентів, визначенні модульної конструкції, що полегшує ремонт і оновлення, а також у підходах до усунення наслідків аномалій. Важливо відзначити, що найважливішими причинами обмеження терміну експлуатації автоматизовані керовані транспортні засоби є знос і застарілі ІТ-рішення. Розробникам продуктів необхідно зосередити зношені частини, які можна легко замінити, і забезпечити можливість заміни ІТ-деталей разом із

створенням можливості додавати додаткові або вдосконалені датчики та виконавчі механізми.

7. Наочний приклад

У цьому розділі пояснюються деякі аспекти стійкої конструкції Системи обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів . Це обговорення базується на прикладі, що складається з системи автоматизованих навантажувачів на складі (рис. 17).



Рисунок 17. Система автоматизованих навантажувачів. [69]

Вилкові навантажувачі - автоматизовані керовані транспортні засоби призначені для транспортування вантажів на піддонах, таких як побутова техніка з виробничої точки (показано на передньому плані рисунка 17).), на висотні стелажі на складі, а з цих полиць на станцію доставки (не показано). Найчастіше компанія, яка управляє складом, купує автоматизовані керовані транспортні засоби і відповідає за їх експлуатацію. Для Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів окрема організація буде відповідати за повний процес транспортування, тобто закупівлю автоматизовані керовані транспортні засоби , контроль та синхронізацію автоматизовані керовані транспортні засоби , а також технічне обслуговування та навіть заміну цих автоматизовані керовані транспортні засоби . Ця повна відповідальність може привести до цілісного погляду, сприяючи, таким чином, стійкому дизайну та стійкій інженерії. Як згадувалося вище, стійкий дизайн починається з свідомого уточнення вимог,

початкового аналізу ризиків і початкової оцінки стійкості. Як було описано раніше, для стійкого дизайну необхідно враховувати кілька факторів. У наведеному прикладі може бути корисним контрольний список, у якому перераховано загальні джерела збоїв у складському середовищі, загальні причини несправностей і загальні можливості атак. Початковий аналіз ризику може бути здійснений у низхідний спосіб, наприклад, за допомогою аналізу дерева відмов (FTA). Отримані знання можна згодом використати для розробки стійких функціональних і логічних архітектур. Для даного випадку може бути реалізовано активне відмовостійке керування, як в центральному блоці керування та синхронізації, так і на локальному автоматизовані керовані транспортні засоби . У цьому випадку певні несправності, такі як несправність датчика в одному з автоматизовані керовані транспортні засоби , можна врахувати, і продуктивність Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів все ще може бути в прийнятних межах. Іншим прикладом пружної конструкції на цьому рівні може бути виявлення зносу зчеплення за допомогою MCSA (див. може бути корисним контрольний список, у якому перераховано загальні джерела збоїв у складському середовищі, загальні причини несправностей і загальні можливості атак. Початковий аналіз ризику може бути здійснений у низхідний спосіб, наприклад, за допомогою аналізу дерева відмов (FTA). Отримані знання можна згодом використати для розробки стійких функціональних і логічних архітектур. Для даного випадку може бути реалізовано активне відмовостійке керування, як в центральному блоці керування та синхронізації, так і на локальному автоматизовані керовані транспортні засоби . У цьому випадку певні несправності, такі як несправність датчика в одному з автоматизовані керовані транспортні засоби , можна врахувати, і продуктивність Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів все ще може бути в прийнятних межах. Іншим прикладом пружної конструкції на цьому рівні може бути виявлення зносу зчеплення за допомогою MCSA (див. може бути

корисним контрольний список, у якому перераховано загальні джерела збоїв у складському середовищі, загальні причини несправностей і загальні можливості атак. Початковий аналіз ризику може бути здійснений у низхідний спосіб, наприклад, за допомогою аналізу дерева відмов (FTA). Отримані знання можна згодом використати для розробки стійких функціональних і логічних архітектур. Для даного випадку може бути реалізовано активне відмовостійке керування, як в центральному блоці керування та синхронізації, так і на локальному автоматизовані керовані транспортні засоби . У цьому випадку певні несправності, такі як несправність датчика в одному з автоматизовані керовані транспортні засоби , можна врахувати, і продуктивність Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів все ще може бути в прийнятних межах. Іншим прикладом пружної конструкції на цьому рівні може бути виявлення зносу зчеплення за допомогою MCSA (див.Розділ 6.3). Більш конкретно, ніж функціональна та логічна архітектура, є абстрактна фізична архітектура. У даному випадку стійкий дизайн абстрактної фізичної структури може бути зосереджений на поведінці автоматизовані керовані транспортні засоби . Глибоке знання цієї поведінки може бути результатом детального моделювання, наприклад поведінки прискорення та курсової стійкості для поверхонь із зниженими коефіцієнтами тертя. На тому ж рівні перспектива, орієнтована на контроль, може призвести до дизайну контролю з урахуванням здоров'я, який оптимізує система обслуговування продуктів з виходом автоматизовані керовані транспортні засоби у разі старіння. Подібним чином, у Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів додаткове робоче навантаження може бути призначено автоматизовані керовані транспортні засоби , для якого вже заплановано технічне обслуговування або навіть заміну. Хорошим прикладом стійкого проектування на найконкретнішому рівні — рівні конструкції, геометрії та матеріалів — було б обмеження максимальної

швидкості автоматизованих навантажувачів, яку неможливо змінити віддалено за допомогою будь-якої зовнішньої атаки.

8. Висновки

Представлені результати дослідження дають відповіді на запитання дослідження:

- Як концепція стійкого дизайну може підтримувати системних інженерів та інженерів-конструкторів у розробці систем обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів? Загальна модель стійкого проектування, повторний аналіз ризиків та оцінка стійкості, а також кілька методів на різних рівнях конкретизації системи були розроблені в цій дослідницькій ініціативі та можуть підтримати системних інженерів та інженерів-проектувальників у цій спробі.

- Як ранні системні концепції та рішення, а також геометричні, матеріальні та структурні аспекти можуть забезпечити безпечну, ефективну та сталу роботу технічних систем за певних впливів і продовжити тривалість експлуатації? У попередніх розділах було наведено конкретні приклади щодо того, як методи та елементи рішення можуть забезпечити безпечну, ефективну та стійку роботу Система обслуговування продуктів автоматизованих керованих транспортних засобів за певних впливів. Раннє врахування зносу та старіння може полегшити перегляд замінних компонентів, що може подовжити час роботи всього автоматизовані керовані транспортні засоби і, як наслідок, покращити його стійкість.

- Як можна поєднати концепцію стійкого дизайну з розробкою стійкості та стійким контролем і як вона може підтримувати обидві концепції? Поєднання з стійким керуванням може бути досягнуто, зосередившись на перспективі керування абстрактною фізичною архітектурою. Відмовостійкість розширює інженерію стійкості до абстрактних рівнів функціональної, логічної та абстрактної фізичної архітектур.

Список літератури

1. Матін, П.; Ейдгахі, А.; Чоударі, Р. Алгоритм розподілу для визначення шляху автоматизованої роботизованої системи доставки деталей у виробничих середовищах. У матеріалах 8-го семінару з показників продуктивності для інтелектуальних систем, Нью-Йорк, Нью-Йорк, NSA, 19–21 серпня 2008 р.; С. 224–229.
2. Боцевич, Г.; Сітек, П.; Банашак, З. До цифрової подвійної методології оцінки ефективності ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ. апл. обчис. Sci. 2022 , 18 , 5–18.
3. Шіралі, Джорджія; Мохаммадфам, І.; Ебрахімпур, В. Новий метод кількісної оцінки інженерії стійкості за допомогою підходу PCA та NT: практичне дослідження в переробній промисловості. Reliab. інж. сист. Саф. 2013 , 119 , 88–94.
4. Френсіс, Р.; Бекера, Б. Метрика та основи для аналізу стійкості інженерних та інфраструктурних систем. Reliab. інж. сист. Саф. 2014 , 121 , 90–103.
5. Херінг, І. Методи технічної безпеки та надійності для розробки стійкості. У технічній безпеці, надійності та стійкості ; Springer: Cham, Швейцарія, 2021; С. 9–26.
6. Гао, З.; Лю, Х. Огляд діагностики несправностей, прогнозування та стійкого керування для систем вітрових турбін. Процеси 2021 , 9 , 300.
7. Пуїг, В.; Ротондо, Д. Зонотопний аналіз інваріантності набору повторних атак, що впливають на наглядний рівень. сист. КОНТРОЛЬ. Lett. 2021 , 157 , 105056.
8. Санчес, HS; Ротондо, Д.; Ескобет, Т.; Пуїг, В.; Салюдес, Дж.; Кеведо, Дж. Виявлення повторних атак у кіберфізичних системах за допомогою сигнатури на основі частоти. Й. Франкл. ін-т 2019 , 356 , 2798–2824.

9. Стеттер, Р. Відмовостійке проектування та керування автоматизованими транспортними засобами та процесами. Інсайти для синтезу інтелектуальних систем ; Springer: Cham, Швейцарія, 2020.
10. Ель-Халвагі, М.М.; Сенгупта, Д.; Пістікопулос, EN; Семмонс, Дж.; Елджак, Ф.; Казі, М. К. Стійке до стихійних лих проектування виробничих потужностей за допомогою інтеграції процесів: основні стратегії, перспективи та проблеми дослідження. Фронт. Систейн. 2020 , 1 , 1–17.
11. Хауг, А. Визначення «стійкого дизайну» в контексті споживчих товарів. Des. J. 2018 , 21 , 15–36.
12. Гао, Ю.; Фен, З.; Чжан С. Управління стійкістю ланцюга постачання в епоху VUCA. Фронт. інж. кер. 2021 , 8 , 465.
13. Weisz, С. Стійкий дизайн: «Системне мислення» як відповідь на зміну клімату. архіт. Des. 2018 , 88 , 24–31.
14. Муса, А.; Піпичеллі, М.; Спано, М.; Туфано, Ф.; Де Нола, Ф.; Ді Блазіо, Г.; Гімеллі, А.; Місул, Д.А.; Тоскано, Г. Огляд моделі прогнозованого керування, застосованого до вдосконалених систем допомоги водієві. Energies 2021 , 14 , 7974.
15. Тубіс А.А.; Потурай, Г. Ризик, пов'язаний із системами автоматизованих керованих транспортних засобів ; Огляд літератури у відкритому доступі. Energies 2022 , 15 , 8910.
16. Влахос, І.; Паскацці, Р.М.; Нтотіс, М.; Спанакі, К.; Десподі, С.; Репуссіс, П. Розумні та гнучкі виробничі системи з використанням автономних керованих транспортних засобів та Інтернету речей (IoT). Міжн. J. Prod. рез. 2022 , 1–22.
17. Кайблінгер, А.; Вошанк, М. Сучасний стан і майбутні напрямки цифрових двійників для виробничої логістики: систематичний огляд літератури. апл. Sci. 2022 , 12 , 669.
18. Жень, Л.; Лі, Н. Огляд літератури з управління розумними складськими операціями. Фронт. інж. кер. 2022 , 9 , 31–55.

19. Блессінг, Л.Т.; Чакрабарті, А. DRM: методологія дослідження дизайну ; Springer: Cham, Швейцарія, 2009.
20. ван Хален, К.; te Riele, Н.; Ромменс П. Системи обслуговування продуктів, еколого-економічні основи. Звіт для міністерств навколишнього середовища (VROM) і економіки (EZ) Нідерландів. 1999. Доступно в Інтернеті: [https://www.researchgate.net/publication/293825611 Product Service systems Ecological and Economic Basics](https://www.researchgate.net/publication/293825611_Product_Service_systems_Ecological_and_Economic_Basics) .
21. Екснер, К.; Ліндов, К.; Бухгольц, К.; Старк, Р. Перевірка систем продуктів і послуг - підхід до прототипування. Procedia CIRP 2014 , 16 , 68–73.
22. да Коста Фернандес, С.; Пігоссо, Макалун, ТК; Розенфельд, Г. На шляху до системи продукт-послуг, орієнтованої на циркулярну економіку: систематичний огляд підходів до розробки ціннісних пропозицій. Ж. Чистий. Виробник 2020 , 257 , 120507.
23. VDI/VDE. VDI/VDE 2006: Розробка кіберфізичних мехатронних систем (CPMS) ; Veuth: Берлін, Німеччина, 2020.
24. Грасслер, І.; Hentze, J. Нова V-модель VDI 2206 та її перевірка. at-Automatisierungstechnik 2020 , 68 , 312–324.
25. Бланке, М.; Кіннерт, М.; Лунце, Дж.; Діагностика та відмовостійкий контроль;; Springer: Нью-Йорк, Нью-Йорк, США, 2016.
26. Вітзак, М. Діагностика несправностей і стратегії стійкого до відмов контролю для нелінійних систем ; Конспект лекцій з електротехніки; Springer International Publishing: Берлін/Гейдельберг, Німеччина, 2014; Том 266, стор. 229.
27. Стеттер, Р. Алгоритми та методи для відмовостійкого дизайну автоматизованого керованого транспортного засобу. Датчики 2022 , 22 , 4648.
28. Мругальська, Б.; Кавецька-Ендлер, А. Практичне застосування методу проектування продукту, стійкого до збурень. гудіння Фактори Ergon. Виробн. Серв. Инд. 2012 , 22 , 121–129.

29. Пал, Г.; Бейц, В.; Фельдгузен, Дж.; КН, Г. Інженерне проектування: системний підхід ; Springer: New York, NY, USA, 2007.
30. Арвідссон, М.; Гремир, І. Принципи методології надійного проектування. *якість Reliab. інж. Міжн.* 2008 , 24 , 23–35.
31. Матіас, Дж.; Ейфлер, Т.; Енгельгардт, Р.; Клоберданц, Х.; Біркхофер, Х.; Бон, А. Вибір фізичних ефектів на основі збурень і коефіцієнтів надійності на ранніх етапах надійного проектування. У матеріалах Міжнародної конференції з інженерного проектування, Kgs. Лінгбі, Данія, 15–18 серпня 2011 р.; Том 5, С. 324–335.
32. Чжан, Дж.; Лі, С.; Бао, Н.; Чжан, Г.; Сюе, Д.; Gu, P. Надійний проектний підхід до визначення допусків механічних виробів. *CIRP Ann.* 2010, 59 , 195–198.
33. Фен, З.; Ван, Дж.; Може.; Ма, Ю. Комплексне проектування параметрів і допусків на основі багатовимірної моделі процесу Гаусса. *інж. оптим.* 2021 , 53 , 1349–1368.
34. Малакова, С.; Сівак, С. Застосування GPS у проектуванні коробок передач. *Acta Mech. Автом.* 2022 , 16 , 309–315.
35. Томіцек, М.; Шмідт, О.; Редер, Ф.; Кревер, У.; Herrmann, С.; Thiede, S. Моделювання взаємозалежностей між процесом і продуктом у системах виробництва акумуляторів. *Procedia CIRP* 2018 , 72 , 346–351.
36. Сі, XS; Ван, В.; Ху, СН; Чжоу, Д. Х. Оцінка залишкового терміну корисного використання — Огляд підходів на основі статистичних даних. *Євро. J. Oper. рез.* 2011 , 213 , 1–14.
37. Кушнер, Д. Реальна історія stuxnet. *Спектр IEEE* 2013 , 50 , 48–53.
38. Сендберг, Х.; Гупта, В.; Захищені мережеві системи управління. *Ann. Рев. контроль. робот. Автом. сист.* 2022 , 5 , 445–464.
39. Тейшейра, А.; Шеймс, І.; Сендберг, Х.; Johansson, КН Безпечна система контролю для зловмисників з обмеженими ресурсами. *Automatica* 2015 , 51 , 135–148.

40. Стеттер, Р.; Вітчак, М.; Тілля, М. Проектування автоматизованих систем з урахуванням кібербезпеки. *Proc. Des. Соц.* 2022 , 2 , 1985–1994.
41. Читчян, Р.; Бец, С.; Дубок, Л.; Пензенштадлер, Б.; Істербрук, С.; Підтвердження дизайну стійкості на прикладах. У матеріалах Четвертого міжнародного семінару з розробки вимог для стійких систем, RE4SuSy 2015, який проходив разом із 23-ю Міжнародною конференцією з розробки вимог IEEE (RE 2015), Оттава, Онтаріо, Канада, 24 серпня 2015 р.
42. Холдер К.; Зех, А.; Рамзаєр, М.; Стеттер, Р.; Нідермайер, НР; Рудольф, С.; Тілля, М. Управління вимогами на основі моделі в проектуванні систем передач на основі мов проектування на основі графів. *апл. Sci.* 2017 , 7 , 1112.
43. Shen, E.M.; Thomaschewski, J.; Escalona, MJ Agile Requirements Engineering: систематичний огляд літератури. *обчис. станд. Інтерфейси* 2017 , 49 , 79–91.
44. Бус Л. Управління вимогами. Доступно в Інтернеті: https://www.eccam.com/requirements_management.html
45. ISO 12100:2010; Безпека машин — Загальні принципи проектування — Оцінка ризику та зменшення ризику. Міжнародна організація зі стандартизації: Женева, Швейцарія, 2010 р.
46. Карлсон, К. Ефективні FMEAs: досягнення безпечних, надійних і економічних продуктів і процесів за допомогою аналізу режиму відмови та наслідків ; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, США, 2012; Том 1.
47. Ельверт, М.; Рамзаєр, М.; Айзенбарт, Б.; Стеттер, Р.; Тілля, М.; Рудольф, С. Моделювання цифрових функцій у мовах проектування на основі графів. *апл. Sci.* 2022 , 12 , 5301.
48. Ліполь Л.С.; Наг, J. Метод аналізу ризиків: FMEA/FMECA в організаціях. *Міжн. J. Basic Appl. Sci.* 2011 , 11 , 74–82.
49. Пітерс, Дж.; Бастен, RJ; Тінга, Т. Підвищення ефективності аналізу відмов шляхом поєднання FTA та FMEA рекурсивним способом. *Reliab. інж. сист. Саф.* 2018 , 172 , 36–44.

50. Кірчер, Д.; Райке, Д.; Хеккерт, М. Концептуалізація циркулярної економіки: аналіз 114 визначень. ресурс. Консерв. Переробити. 2017 , 127 , 221–232.
51. Шьоггл, Дж. П.; Штумпф, Л.; Баумгартнер, Р. Дж. Розповідь про сталий розвиток і циркулярну економіку – подовжений огляд двох десятиліть досліджень. ресурс. Консерв. Переробити. 2020 , 163 , 105073.
52. Аван, У.; Шахбаз, М. Індустрія 4.0 і циркулярна економіка: огляд літератури та рекомендації для майбутніх досліджень. Автобус. Стратегічне середовище. 2021 , 30 , 2038–2060.
53. Ву, М.Т; Алатгас, Бутераа, Ю.; Рахмані, Р.; Фекіх, А.; Мобаєн, С., W. Оптимізований нечіткий розширений надійний дизайн керування для паралельного робота Stewart. Математика 2022 , 10 , 1917.
54. Трауер, Дж.; Pfingstl, S.; Фінстерер, М.; Циммерманн, М. Підвищення ефективності виробництва за допомогою цифрового двійника на основі виявлення аномалій. Sustainability 2021 , 13 , 10155.
55. Хан, В.; Сюй, Дж.; нд, З.; Лю, Б.; Чжан, К.; Чжан, З.; Мей, Х. Цифрове автоматизоване кероване планування транспортного засобу на основі двох цифрових пристроїв: вирішення проблем із заряджанням. апл. Sci. 2022 , 12 , 3354.
56. Айзенбарт, Б.; Геріке, К.; Блессінг, Л.; Макалоун, Т. Структура на основі DSM для інтегрованого моделювання функцій: концепція, застосування та оцінка. рез. інж. Des. 2016 , 28 , 25–41.
57. Херб, Р.; Херб, Т.; Конхаузер, В. ТРИЗ ; Der systematische Weg zur Innovation: Landsberg, Germany, 2000.
58. Чжан, К.; Лі, Х.; Цао, С.; Ян, К.; Сонце, Ф.; Wang, Z. Аналіз сигналу струму двигуна з використанням гіперграфічних нейронних мереж для діагностики несправностей електромеханічної системи. Вимірювання 2022 , 201 , 111697.

59. Ерленшпіль, К.; Міккерам, Н. Комплексна розробка продуктів: думкові процеси, використання методів, співробітництво, Видання 6, опрацьоване та розширене; Вена: Мюнхен, Германия, 2017.
60. Стеттер, Р. Підходи до моделювання фізичної поведінки технічних систем на прикладі вітрових турбін. *Energies* 2020 , 13 , 2087.
61. Чжен, Х.; Бетц, Дж.; Мангхарам, Р. Безградієнтна багатодоменна оптимізація для автономних систем. *arXiv* 2022 , arXiv:2202.13525.
62. Ву, Ю.; Мао, Ю.; Ху, Л. Метод спільного моделювання на основі FMI та перевірка випробувань трансмісії з перемиканням напруги трактора. *PLoS ONE* 2022 , 17 , e263838.
63. Ларсен, П.Г.; Фіцджеральд, Дж.; Вудкок, Дж.; Фріцсон, П.; Брауер, Дж.; Клейн, К.; Леконт, Т.; Пфейл, М.; Грін, О.; Vasagiannis, S.; та ін. Інтегрований ланцюжок інструментів для моделювання кіберфізичних систем: проєкт INTO-CPS. У матеріалах 2016 2-го міжнародного семінару з моделювання, аналізу та контролю складних CPS (CPS Data), Відень, Австрія, 11 квітня 2016 р.; С. 1–6.
64. Річарт, М.; Веласкес, Ф.; Чьюффарді, Ф.; Віска, Дж.; Valiosian, J. CoCoSim: інструмент для спільного моделювання мобільних кооперативних роботів. У матеріалах програмної інженерії та формальних методів, спільні семінари SEFM 2022: AI4EA, F-IDE, CoSim-CPS, CIFMA, Берлін, Німеччина, 26–30 вересня 2022 р.; Переглянуті вибрані роботи. Springer: Нью-Йорк, Нью-Йорк, США, 2023; С. 258–268.
65. Хавард, В.; Жанна, Б.; Лакомблез, М.; Бодрі, Д. Цифровий двійник і віртуальна реальність: середовище спільного моделювання для проєктування та оцінки промислових робочих станцій. *Виробник Виробн. рез.* 2019 , 7 , 472–489.
66. Мругальська, Б.; Стіттер, Р. Здоров'язберігаюча модель прогнозного контролю автоматизованого керованого транспортного засобу - Based Production System. *Sensors* 2019 , 19 , 532.

67. Стеттер, Р. Прийняття та відмова від стратегій, методів та інструментів проектування в автомобільній промисловості. Вплив дослідження дизайну на промислову практику: інструменти, технології та навчання ; Springer: Нью-Йорк, Нью-Йорк, США, 2015; С. 451–464.

68. Райхвальд, Р.; Конрат, ЛІ Інтеграційні рішення для розробки продукту. VDI-Z 1995 , 137 , 58–60.

69. Стеттер, Р. Стійкий дизайн систем обслуговування продуктів з автоматизованими керованими транспортними засобами. Транспортні засоби 2023 , 5 , 780-801. <https://doi.org/10.3390/vehicles5030043>