

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

автоматизації і інформаційних технологій

(факультет)

інформаційних технологій

(кафедра)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО РІВНЯ «БАКАЛАВР»

на тему: «Розробка підсистеми адаптивної фільтрації. Фільтр Калмана»

НИКИФОРУК МИХАЙЛО СТАНІСЛАВОВИЧ

(прізвище, ім'я та по батькові студента повністю)

Київ 2023 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**автоматизації і інформаційних технологій**

(факультет)

**інформаційних технологій**

(кафедра)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ІТ

д.т.н., професор Цюцюра С.В.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО РІВНЯ «БАКАЛАВР»**

на тему: «Розробка підсистеми адаптивної фільтрації. Фільтр Калмана»

Виконав: студент 4-го курсу, групи КН-41

Спеціальності: 122 «Комп'ютерні науки

Спеціалізація: «Інформаційні управляючі системи та технології»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Никифорук М.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доц. Горда О.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доц. Доля О.В.

(прізвище та ініціали)

Київ, 2023 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: автоматизації і інформаційних технологій

Кафедра: інформаційних технологій

Освітній рівень: «бакалавр» за ОПП

Спеціальність: 122 «Комп'ютерні науки»

Спеціалізація: Інформаційні управляючі системи та технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ІТ

д.т.н., професор Цюцюра С.В.

„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 року

**З А В Д А Н Н Я  
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО РІВНЯ «БАКАЛАВР»**

Никифорок Михайло Станіславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розроблення підсистеми адаптивної фільтрації. Фільтр Калмана
2. Керівник роботи: Горда Олена Володимирівна, к.т.н, доцент кафедри інформаційних технологій  
затвержені наказом ректора КНУБА № 1811/2 від «17» листопада 2022 р.
3. Термін подачі студентом роботи до захисту: 01.червня 2023.
4. Зміст пояснювальної записки:
  - P1. Аналіз проблеми управління будівельними процесами
  - P2. Розробка математичного забезпечення.
  - P3. Розробка програмного забезпечення.
  - P4. Техніко-економічне обґрунтування розробки підсистеми (Бізнес-план)
5. Перелік презентаційно-інформаційних слайдів:
  - C1. Розроблення підсистеми адаптивної фільтрації. Фільтр Калмана.
  - C2. Актуальність проблеми
  - C3. Дерево цілей та дерево проблем

C4. Ефективність управління та життєвий цикл

C5. Аналіз факторів впливу на виконання будівельних робіт

C6. Діаграма Ганта

C7. Фільтр Калмана

C8. Етапи та основні формули фільтра Калмана

C9. Структура Матлабу та стандартні засоби

C10. Імітаційна модель фільтра Калмана в Simulink

C11. Висновки

#### 6. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта, представника комісії	дата	підпис
Техніко-економічне обґрунтування розробки підсистеми (Бізнес-план)	д.т.н., професор Цюцюра С.В.		
Прийом програмного продукту	к.т.н., доцент Єрукаєв А.В.		

7. Дата видачі завдання: 15 лютого 2023 р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Р. 1. Аналіз предметної області та постановка задачі	Лютий 2023 р.
Р. 2. Розробка математичного забезпечення	Лютий 2023 р.
Р. 3. Розробка програмного забезпечення. Тестовий приклад програми	Березень 2023 р.
Р. 4. Техніко-економічне обґрунтування розробки підсистеми (Бізнес-план)	Квітень 2023 р.
Оформлення роботи	Травень 2023 р.
Направлення роботи на рецензування	Травень 2023 р.
Попередній захист роботи на кафедрі	Червень 2023 р.

Бакалавр

(підпис)

Никифорок М.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Горда О.В.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Никифорок М.С. «Розроблення підсистеми адаптивної фільтрації. Фільтр Калмана».

Атестаційна випускова робота бакалавра за спеціальністю: 122 «Комп'ютерні науки», спеціалізація: «Інформаційні управляючі системи і технології проектування». – Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київ, 2023.

В атестаційній випусковій роботі розроблена підсистема адаптивної фільтрації. Застосовано фільтр Калмана. Побудована модель адаптивного управління будівництвом на основі адаптивного фільтру Калмана. Проведено аналіз методологічних основ застосування адаптивних методів управління процесом виконання будівельних робіт.

*Ключові слова:* інформаційні технології, адаптивна фільтрація, фільтр Калмана.

## SUMMARY

Nykyforuk M.S. "Development of an adaptive filtering subsystem. Kalman filter".

Attestation thesis of a bachelor in the specialty: 122 "Computer science", specialization: "Information control systems and design technologies". - Kyiv National University of Construction and Architecture. - Kyiv, 2023.

An adaptive filtering subsystem was developed in the attestation thesis. A Kalman filter is applied. A model of adaptive construction management based on the adaptive Kalman filter was built. An analysis of the methodological foundations of the application of adaptive methods of managing the process of construction works was carried out.

*Key words:* information technology, adaptive filtering, Kalman filter.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>7</b>
<b>1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНИМИ ПРОЦЕСАМИ .....</b>	<b>8</b>
1.1 Актуальність проблеми управління будівельними процесами .....	8
1.2 Визначення цілей дослідження .....	11
1.3 Аналіз сучасного стану задач реалізації будівельних проектів.....	12
1.3.1 Теоретичні здобутки .....	14
1.3.2 Аналіз існуючих програмних засобів розробки та реалізації будівельних проектів.....	16
1.3.3 Аналіз існуючих програмних засобів управління будівельними проектами.....	18
1.4 Аналіз проблеми та особливостей управління будівельними процесами (дерево проблем). Проблеми регулювання галузі будівництва .....	19
1.5 Ефективність системи управління будівельними процесами .....	22
1.6 Аналіз життєвого циклу процесу виконання будівельних робіт.....	25
1.7 Постановка задачі .....	28
<b>2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....</b>	<b>29</b>
2.1 Методи і моделі управління виконанням будівельних робіт .....	29
2.1.1 Аналітичні методи (матричні) .....	30
2.1.2 Графічні моделі .....	31
2.2 Аналіз факторів впливу на темпи виконання будівельних робіт.....	36
2.3 Аналіз методів визначення темпу виконання будівельних робіт .....	38
2.4 Адаптивна фільтрація.....	42
2.5 Фільтр Калмана .....	42
2.5.1 Загальна інформація.....	42
2.5.2 Побудова фільтра Калмана.....	44
2.5.3 Прогнозування.....	46
2.5.4 Корекція .....	46
<b>3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....</b>	<b>51</b>
3.1 Обґрунтування вибору програмного засобу для реалізації проекту.....	51
3.2 Робота зі змінними в Matlab.....	53
3.3 Використання стандартних засобів Matlab (функцій) .....	57
3.4 Графічна частина в Matlab .....	59
3.5 Моделювання фільтра Калмана в Simulink .....	62
3.6 Реалізація фільтра Калмана за допомогою програмного коду .....	65
<b>4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ПІДСИСТЕМИ ..</b>	<b>68</b>
4.1 Введення .....	68
4.2 Оцінка ринку збуту.....	68
4.3 Макроекономічний аналіз будівельного ринку України.....	69

4.4 Конкуренція .....	71
4.5 Стратегія маркетингу .....	73
4.6 Юридичний план .....	75
4.7 Оцінка ризику і страхування .....	78
4.8 Фінансовий план .....	80
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>82</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>83</b>
Додаток А (лістинг коду).....	86
Додаток Б (презентація) .....	87
Додаток В (результат перевірки на плагіат).....	88

## ВСТУП

Будівництво – це важлива самостійна галузь національної економіки, призначена для введення в дію нових об'єктів виробничого та невиробничого призначення, а також реконструкції, розширення, модернізації, технічного переозброєння та капітального ремонту вже діючих об'єктів.

Розвиток будівельної галузі є драйвером для зростання десятків суміжних галузей. За даними BRDO (Better Regulation Delivery Office – незалежний експертно-аналітичний центр, який фінансується міжнародними донорами, насамперед Європейським Союзом), мультиплікативний ефект проявляється у тому, що кожна гривня, інвестована у будівництво, приносить додаткові 6 гривень у суміжні галузі, створюючи цим синергетичний ефект.

Організація будівництва представляє собою складний, продовжений у часі багатоетапний процес, що вимагає узгодженості здійснення всіх видів робіт та їх виконавців, як у часі так і стосовно використання матеріальних, технічних та інших ресурсів. Сьогодні реалізація будівельних проектів виконується в недостатньо структурованому, непередбачуваному середовищі ринку.

Аналіз міжнародного досвіду управління проектами (за даними IPMA - Міжнародної асоціації управління проектами) показує, що при використанні методів управління проектами тривалість реалізації проектів скорочується в середньому на 20-30%, а витрати зменшуються на 10-15%.

Як інструментарій для реалізації формалізованих методів управління проектами широко застосовується програмне забезпечення, що дозволяє планувати та контролювати виробництво великої кількості робіт та використання різних ресурсів.

В сфері управління будівельними проектами напрацьовано багато різноманітних методик та методів але практично недослідженими є проблеми розробки та розвитку методів адаптивного управління.

# 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНИМИ ПРОЦЕСАМИ

## 1.1 Актуальність проблеми управління будівельними процесами

Будівництво відноситься до сфер людської діяльності яка виникла і розвивалась упродовж тисячоліть. Сьогодні потреба у будівництві не стає меншою, а навпаки зростає, і сам процес зведення будівель та споруд, спираючись на значні здобутки минулого, зазнав корінних змін, що обумовлені значним розвитком нових технологій серед яких особливе місце відводиться застосування інформаційних комп'ютерних технологій та систем.

Аналіз основних тенденцій розвитку світового будівельного ринку показує, що ключовими факторами, які впливають і будуть впливати на обсяги будівництва до 2030 року, є:

- поява нових будівельних технологій та матеріалів,
- невирішеність житлової проблеми у багатьох країнах (особливо що розвиваються в Африці та ряді країн Південно-Східної Азії),
- прискорення інформатизації будівництва,
- необхідність реконструкції діючих промислових підприємств для адаптації до вимог майбутнього будівництва,
- необхідність великих обсягів будівництва об'єктів інженерної, транспортної та соціальної інфраструктури в країнах, що розвиваються.

Тенденції та перспективи розвитку будівельної сфери у глобальному масштабі відслідковуються та аналізуються широким переліком авторитетних консалтингових компаній та групами експертів (GlobalData, Global Construction, PWC (Oxford Economics), The Business Research Company). При реалізації найбільш сприятливого прогнозу (The Business Research Company та GlobalData)

обсяг світового будівельного ринку з 2020 року збільшиться на 25% до 2023 року (з 12 до 15 трлн. дол. США) та на 42% до 2025 року (з 12 до 17) трлн. дол. США).

Декілька останніх років на ринку України спостерігалось зменшення обсягів виконання будівельних робіт, але потреба у будівництві лишається незмінною, що видно з діаграми, наведеної на рис. 1.1.

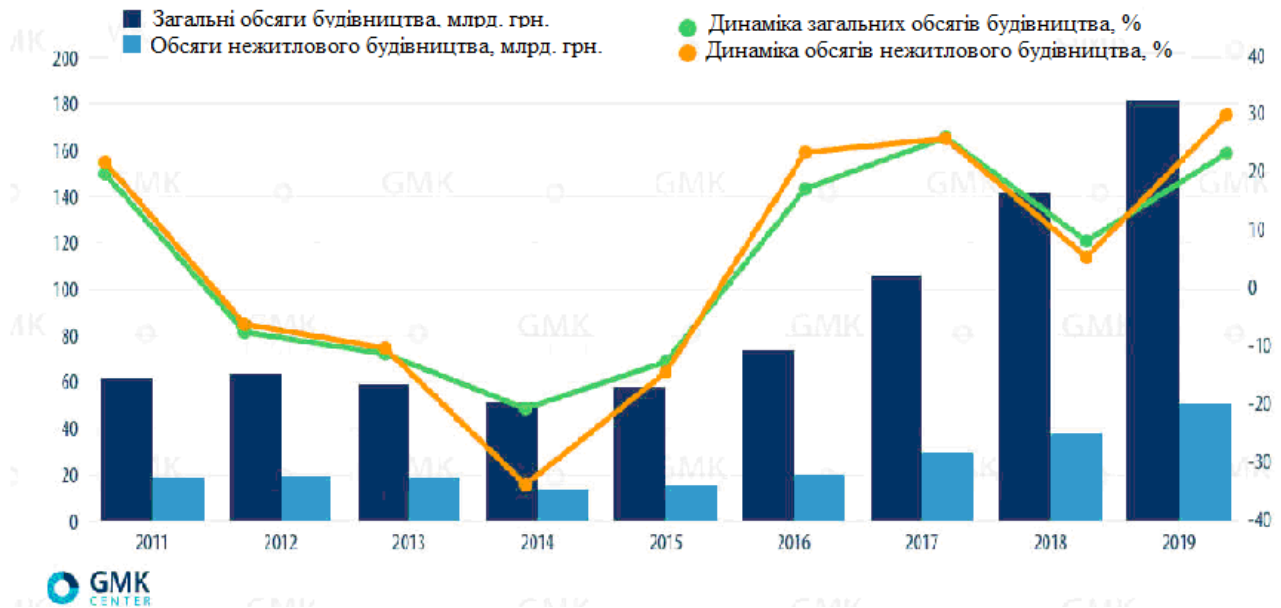


Рисунок 1.1 Обсяги та динаміка будівництва на Україні за 2011-2019 роки

При цьому експерти ринку відзначають посилення конкуренції та, як наслідок, суттєву корекцію трендів на ринку. Так як основні споживачі заморозили будівництво та реконструкцію, то спостерігається жорстка конкуренція за ті об'єкти, які пропонуються на ринку.

Виграти конкурентну боротьбу та зміцнити позиції будівель компанія може за рахунок забезпечення високої якості виконання будівельних робіт та дотримання строків їх виконання.

При реалізації будівельних проектів необхідно виходити з того, що організація будівництва представляє собою складний, продовжений у часі багатоетапний процес, що вимагає узгодженості здійснення всіх видів робіт та їх виконавців, як у часі так і стосовно використання матеріальних, технічних та інших ресурсів.

Виконання будівельних робіт – це два взаємозв'язаних паралельних асинхронних процеси:

- виконання послідовності робіт;
- забезпечення ресурсами.

Причому процес виконання роботи залежить від наявності ресурсів, отже, він є підлеглим.

Одним з шляхів оптимізації виконання будівельних робіт є узгодження окремих робіт і забезпечення ресурсами, причому забезпечення ресурсами повинне передувати виконанню робіт.

Очевидно, що мінлива обстановка на будівництві може зажадати істотного коригування виконання плану, проте при будь-яких ситуаціях керівник будівництва повинен чітко уявляти, що треба робити найближчими днями, тижнями, місяцями. Нормальний хід будівництва можливий тільки тоді, коли завчасно продумано, в якій послідовності вестимуться роботи, яка кількість робітників, машин, механізмів і інших ресурсів знадобиться для кожної роботи.

Сучасні вимоги науково-технічного прогресу у будівництві вносять у процес моніторингу та управління виконання будівельних робіт суттєву новизну:

- сфера наукових розробок у рамках управління (прогностика, моделювання, інформаційне забезпечення та виконання розрахунків в автоматизованих режимах) значно розширюється;
- розвиток елементів формалізації у технології проектування обумовлюють широке використання комплексних функціонально-орієнтованих методів.

В умовах реального будівництва завдання планування етапів і операцій реалізації проекту є насущним, постійно виникаючим, і тому актуальним.

Оптимізація процесу виконання будівельних робіт та витрат ресурсів з врахуванням часових інтервалів для виконання окремих інтервалів, регламентованих технологічними вимогами якості, може здійснюватися за рахунок оперативного управління на основі ітераційних адаптивних методів, які дозволяють враховувати реальну ситуацію на поточному кроці реалізації

будівельного проекту і на основі цього планувати хід робіт на наступному кроці. Причому, дотримання часових показників значною мірою впливають як на економічні показники виконання будівельних робіт, так і на рейтинг будівельної компанії, як надійного партнера.

Актуальність даної роботи обумовлена необхідністю забезпечення зваженої стратегії діяльності будівельних підприємств у конкурентному середовищі з метою підвищення загальної ефективності будівельної галузі, оптимізації економічних та виробничих показників.

## **1.2 Визначення цілей дослідження**

Якісне управління проектами у будівництві гарантує:

- успішне завершення робіт у повному обсязі, у заявлений термін та відповідно до тимчасових обмежень будівництва:

- цільове використання інвестицій;
- високий рівень якості всіх робіт;
- чітка відповідність проекту виділеному бюджету;
- контроль реалізації всіх завдань у часі;
- зниження ризиків.

У процесі виконання будівельних робіт розрізняють календарне та оперативне управління. Календарний план – це перспективний план, що складається за датами. При складанні планів на тривалий період неможливо врахувати всі фактори, що можуть виникнути в процесі їх виконання.

До функцій оперативного управління входить неперервний вплив на своєчасне виконання передбачених планом робіт. До стадії оперативного управління належать оперативне планування та регулювання, що включає контроль, облік та прийняття необхідних рішень. У процесі виконання будь-які рішення, пов'язані з реалізацією проекту, зводяться до встановлення календарних режимів виконання робіт.

В даній роботі основна увага приділена методам оперативного управління процесами виконання будівельних робіт. Саме з оперативним плануванням тісно пов'язана планова система оперативного керівництва реалізацією планів виконання будівельних робіт.

Сукупність методів оперативного планування та диспетчерського керівництва утворює поняття оперативного управління будівельним виробництвом.



Рисунок 1.2 Дерево основних цілей задачі автоматизації елементів управління процесом виконання будівельних робіт

Для визначення та досягнення поставлених цілей доцільно їх представити у вигляді структурованого ієрархічного графу – дерева цілей (рис.1.2).

На верхньому «нульовому» рівні ієрархії представлена головна мета. Цілі першого рівня (1, 2) визначають основні показники реалізації будівельного проекту, а ціль 3 – один з шляхів їх покращення. Цілі нижнього 3-го рівня ієрархії визначають механізми досягнення цілей вищого рівня.

### 1.3 Аналіз сучасного стану задач реалізації будівельних проектів

Будівнича галузь відноситься до складних міждисциплінарних сфер діяльності, розвиток якої значною мірою залежить та спирається на досягнення фундаментальних дисциплін. Процесам будівництва присвячена велика кількість як суто теоретичних, так і науково-практичних досліджень.

В галузі будівельних наук основні завдання та науково-практичні здобутки пов'язані із створенням нових технологій виробництва будівельних матеріалів, розробкою нових конструктивних систем будівель та споруд, інженерних систем. Основна увага спрямована на надійність, безпеку, довговічність, естетичний комфорт та експлуатаційну економічність. Відповідно до світових тенденцій, простежується акцентування на прагнення забезпечити зниження матеріаломісткості, енергоємності та собівартості будівництва, розвиток енергозберігаючих будівельних технологій, впровадження нових безпечних систем та технологій водопостачання та водовідведення, а також методів моніторингу та управління процесом виконання робіт.[4]

Одним з ключових завдань, що стоять перед будівельною наукою, стає перехід до цифрових, інтелектуальних виробничих технологій, роботизованих систем, нових матеріалів та способів конструювання у будівництві, застосування BIM технологій (рис 1.3.).

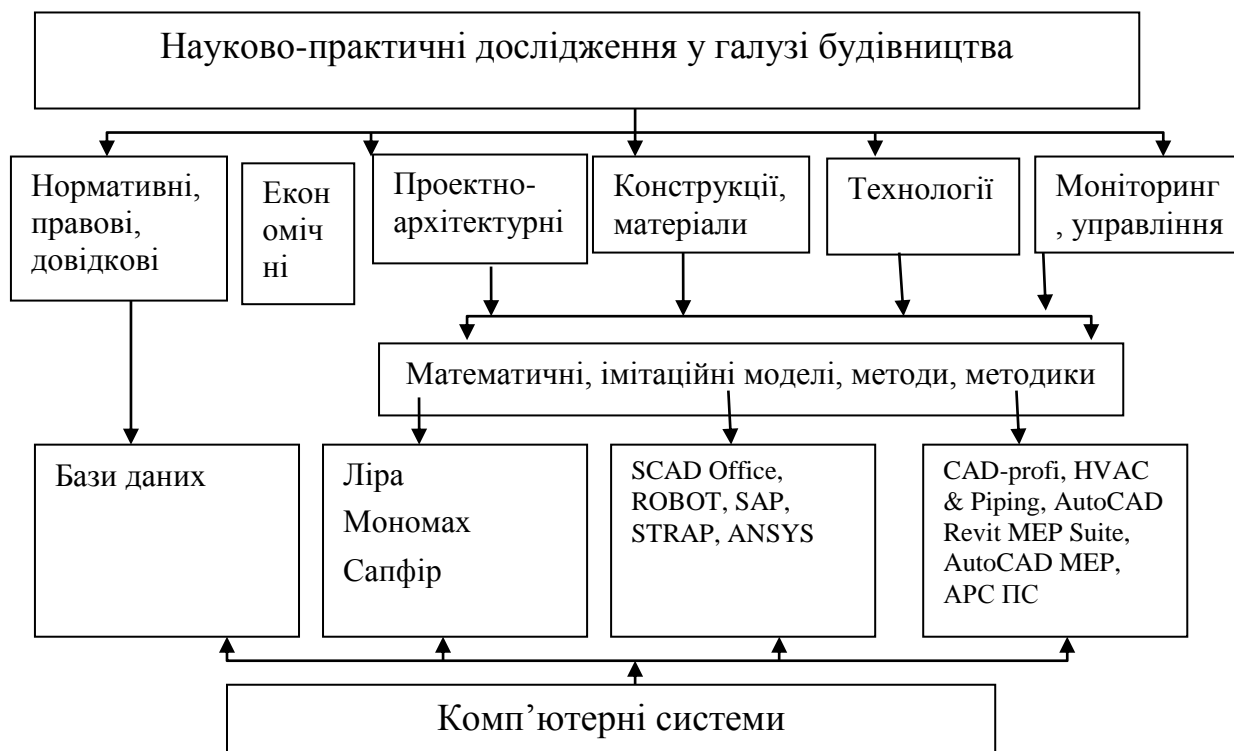


Рис. 1.3 Структура науково-практичних досліджень в галузі будівництва та застосування інформаційних технологій

### 1.3.1 Теоретичні здобутки

Архітектурно-конструктивне проектування, розрахунок конструкцій, розробка кошторисної документації, а останнім часом і бухгалтерський облік здійснюються з використанням сучасних ефективних програмних комплексів. Кожен із програмних комплексів має свою модель уявлення об'єкта транспортного будівництва та оперує атрибутами елементів моделі, які необхідні для вирішення завдань автоматизації певного етапу проектування будівельного об'єкту. Інтеграція між програмними комплексами найчастіше забезпечується шляхом обміну файлами експорту/імпорту. Аналіз публікацій. Принципи параметричного моделювання та створення інформаційної моделі будівельних об'єктів відображені в роботах сучасних учених: Ніколас Нісбет, Алек Ньюїнг, М.С. Барабаш, А.С. Городецького, О.І. Пакідова, В.А. Попова, А.В. Скворцова, В.В. Талапова, В.В. Мігунова та ін.

Практичним впровадженням BIM технологій для вирішення завдань

проектування займаються розробники сучасних САПР (наприклад, Autodesk, Bentley Systems, Nemetschek, Graphisoft, TEKLA, ЛІРА САПР та ін.)

Про використання BIM-технологій у будівельній галузі викладено в роботах Боголюбська Ю.В., Бакалець І.А., Курнаков М.С., Патсаєв М.М., Степанов А.А., Абанін П.Д., Кисіль Т.М., Костюкова Т.А. у роботі розглянули необхідність розвитку BIM-технологій, їх впровадження у виробництво через підготовку фахівців університетах. У статті Абдулєєва М.М., Суворова С.П. виявлено основні проблеми та позначено перспективи впровадження BIM у практику будівельних підприємств на всіх стадіях життєвого циклу об'єкта будівництва – на етапах передпроектної роботи та проектування, будівництва та експлуатації, модернізації та реконструкції.

До найбільш значних розробок, пов'язаних з розвитком ситуаційного та програмно-цільового управління складними об'єктами слід віднести дослідження, проведені Кликовим Ю.І., Поспеловим Д.А. та Поспеловим Г.С.

Що ж до інноваційних методів розвитку, то тут можна назвати роботи наступних авторів: Колосова В.Г., Валдайцевой С.В., Волдачек Д., Мединського В.Г., Поршнева А.Г., Пригожина А.І. та інших.

50. Shradha, B. Kulkarni. Cost Control Technique Using Building Information Modeling (BIM) For a Residential Building / Shradha B. Kulkarni, GouriMhetar // International Journal of Engineering Research and Technology. - 2017.- V. 10, № 1. - P. 324-330

Forgues, D. Rethinking the Cost Estimating Process through 5D BIM: A Case Study / D. Forgues, I. Jordanova, F. Valdivesio and others // Construction Research

#### Оцінка вартості та BIM

Управління вартістю є важливим пріоритетом в управлінні будівництвом. Оскільки оцінка вартості зазвичай здійснюється наприкінці фази проекту різними способами, зацікавлені сторони, які використовують набори даних та інформацію, які є неоднорідними, це дуже фрагментований, ресурсомісткий і неефективний процес, особливо на великих або складних проектах. Відповідно до літератури, відхилення понад 40% від початкового бюджету є частими у цих випадках

(Flyvbjerg, et al., 2003, Winch 2010). Однією з обіцянок BIM є вирішення цієї проблеми шляхом створення унікального джерела для оцінки витрат на весь життєвий цикл проекту. Відповідно до Kahnzode та ін. (2007) точність витрат у 3% може бути досягнута від початкових витрат складання бюджету до вартості будівництва будівлі. Втім, технологічні і робочі організаційні проблеми впровадження оцінки на основі BIM як однієї з ключових зацікавлених сторін ланцюга поставок, генерального підрядника, мало задокументовано в академічній літературі.

Також варто зазначити такі праці:

Elbeltagi, E. BIM-Based Cost Estimation/ Monitoring For Building Construction / E.Elbeltagi, O.Hosny, M. Dawood and others // Int. Journal of Engineering Research and Applications. - 2014.- Vol. 4, Issue 7 (Version 4).-Pp.56-66

Lapidus, A.A., Systemic integrated approach to evaluating the resource potential of a construction company as a bidder / A.A.Lapidus, I.L Abramov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd World Multidisciplinary Civil Engineering, Architecture, Urban Planning Symposium (WMCAUS 2018). - 2019.

### **1.3.2 Аналіз існуючих програмних засобів розробки та реалізації будівельних проектів**

В даний час програмне забезпечення САПР охоплює практично всі розділи проектування. Автоматизація архітектурної частини проекту забезпечується такими програмними комплексами, як САПФІР, ArchiCAD, REVIT, Allplan та ін. Конструктори мають у своєму розпорядженні широкий набір програмних комплексів, таких як ЛІРАСАПР, МОНОМАХ, SCAD Office, ROBOT, SAP, STRAP, ANSYS та ін.[5]

Отже, нижче наведено аналіз деяких програмних засобів, які зазвичай використовуються для розробки та реалізації будівельних проектів:

AutoCAD є широко використовуваним програмним інструментом для архітектурного проектування та креслення. Це дозволяє створювати 2D і 3D

моделі, точні вимірювання та точну документацію. AutoCAD дозволяє архітекторам, інженерам і дизайнерам розробляти детальні плани будівництва, креслення та макети. Він підтримує співпрацю та взаємодію з іншим програмним забезпеченням для проектування та є стандартним інструментом у будівельній галузі.

Revit – це програмне забезпечення для інформаційного моделювання будівель (BIM), яке дозволяє створювати інтелектуальні 3D-моделі будівель та інфраструктури. Він полегшує співпрацю між архітекторами, інженерами та підрядниками, надаючи спільну платформу для проектування, будівництва та експлуатації. Revit містить такі функції, як параметричне моделювання, виявлення зіткнень і документація побудови. Він підтримує обмін інформацією та інтеграцію з іншими інструментами BIM.

Navisworks – це програмне забезпечення для аналізу проектів, яке забезпечує координацію та візуалізацію будівельних проектів. Це дозволяє користувачам комбінувати моделі з різних дисциплін проектування та виконувати виявлення зіткнень для виявлення та вирішення потенційних конфліктів. Navisworks надає розширені можливості візуалізації, моделювання та анімації, допомагаючи в координації проекту, комунікації та зменшенні ризиків.

Oracle Primavera P6 – це програмне забезпечення для управління проектами, яке широко використовується в будівельній галузі. Він пропонує комплексні функції планування проекту, планування, управління ресурсами та контролю витрат. Primavera P6 дозволяє керівникам проектів створювати детальні плани проекту, відстежувати прогрес, керувати ресурсами та аналізувати продуктивність проекту. Він підходить для масштабних будівельних проектів зі складними графіками та кількома залежностями.

При виборі програмних засобів для розробки та реалізації будівельних проектів, важливо враховувати такі фактори, як конкретні потреби проекту, можливості інтеграції з іншим програмним забезпеченням, простота використання, функції співпраці та масштабованість. Проведення ретельної

оцінки та врахування відгуків користувачів може допомогти визначити найбільш підходящий програмний інструмент для конкретного будівельного проекту.

### **1.3.3 Аналіз існуючих програмних засобів управління будівельними проектами**

Серед популярних програмних інструментів для управління будівельними проектами можна назвати основні, про які йдеться нижче.

Microsoft Project – це широко використовуване програмне забезпечення для керування проектами, яке також можна застосовувати до будівельних проектів. Це дозволяє користувачам створювати плани проекту, планувати завдання, розподіляти ресурси та відстежувати прогрес. Microsoft Project надає такі функції, як діаграми Ганта, керування ресурсами та звітування. Незважаючи на те, що це універсальний інструмент, він може потребувати додаткових налаштувань і адаптацій, щоб задовольнити потреби конкретного будівельного проекту.

Procore – це широко використовувана та комплексна платформа для управління будівельними проектами. Він пропонує такі функції, як керування документами, планування проектів, бюджетування, інструменти для співпраці та звітування. Зручний інтерфейс і широка функціональність Procore роблять його придатним як для малих, так і для великих будівельних фірм. Він також підтримує інтеграцію з іншими додатками будівельного програмного забезпечення та надає мобільний додаток для доступу на місці.

PlanGrid – це хмарний інструмент управління будівельними проектами, який зосереджується на управлінні документами та співпраці. Це дозволяє користувачам зберігати, обмінюватися та керувати будівельними кресленнями, планами та документами. PlanGrid пропонує такі функції, як контроль версій, розмітка та відстеження прогресу. Його мобільний додаток забезпечує співпрацю в реальному часі та доступ до інформації про проект з будь-якого місця. Однак функціональні можливості PlanGrid можуть бути більш обмеженими порівняно з комплексними рішеннями для управління проектами.

Autodesk BIM 360 – це інструмент управління будівельними проектами, який підкреслює можливості інформаційного моделювання будівель (BIM). Це забезпечує співпрацю, керування документами та відстеження проекту протягом життєвого циклу будівництва. BIM 360 надає функції для виявлення зіткнень, координації моделі та керування полями. Він добре інтегрується з програмним забезпеченням Autodesk і підтримує хмарний доступ, але може мати крутішу криву навчання для користувачів, які не знайомі з робочими процесами BIM.

Prolog – це програмне забезпечення для управління будівельними проектами, призначене для оптимізації робочих процесів проекту, контролю документів і спілкування. Він пропонує такі функції, як керування витратами, керування замовленнями на зміни, RFI (запит на інформацію) і відстеження подання. Сильна сторона Prolog полягає в його здатності відстежувати та керувати проектною документацією та сприяти співпраці між зацікавленими сторонами проекту. Це може бути більш придатним для великих проектів і організацій.

Варто зазначити, що вибираючи програмний інструмент для управління будівельними проектами, важливо враховувати такі фактори, як розмір проекту, конкретні вимоги, можливості інтеграції, простота використання та масштабованість. Проведення ретельної оцінки, включаючи випробувальні періоди та пошук відгуків користувачів, може допомогти визначити найкращий варіант для конкретного будівельного проекту чи організації.

#### **1.4 Аналіз проблеми та особливостей управління будівельними процесами (дерево проблем). Проблеми регулювання галузі будівництва**

Будівництво як різновид економічної діяльності має свою специфіку і є пов'язаним із реалізацією і розробкою великої кількості різних проектів. Аналіз проблем будівництва і проектування допомагає розробити ефективну систему управління вартістю проекту, це сприяє покращенню якісних показників

реалізації даного проекту, і також дозволяє досягти мінімальних ризиків зміни кошторисної вартості. Це є дуже важливим, оскільки кошторисна вартість будівництва являється вихідною основою для визначення розміру капітальних вкладень, фінансування будівництва, і в результаті будь-яке необґрунтоване заниження або завищення кошторисної вартості позначатиметься на показниках ефективності реалізації самого проекту.

У проектуванні, як і в будь-якій іншій сфері діяльності, виникають труднощі та нестандартні ситуації, які необхідно швидко вирішувати, а часом і вносити коригування у виробничі плани та програми в ході самого проектування (рис. 1.4).

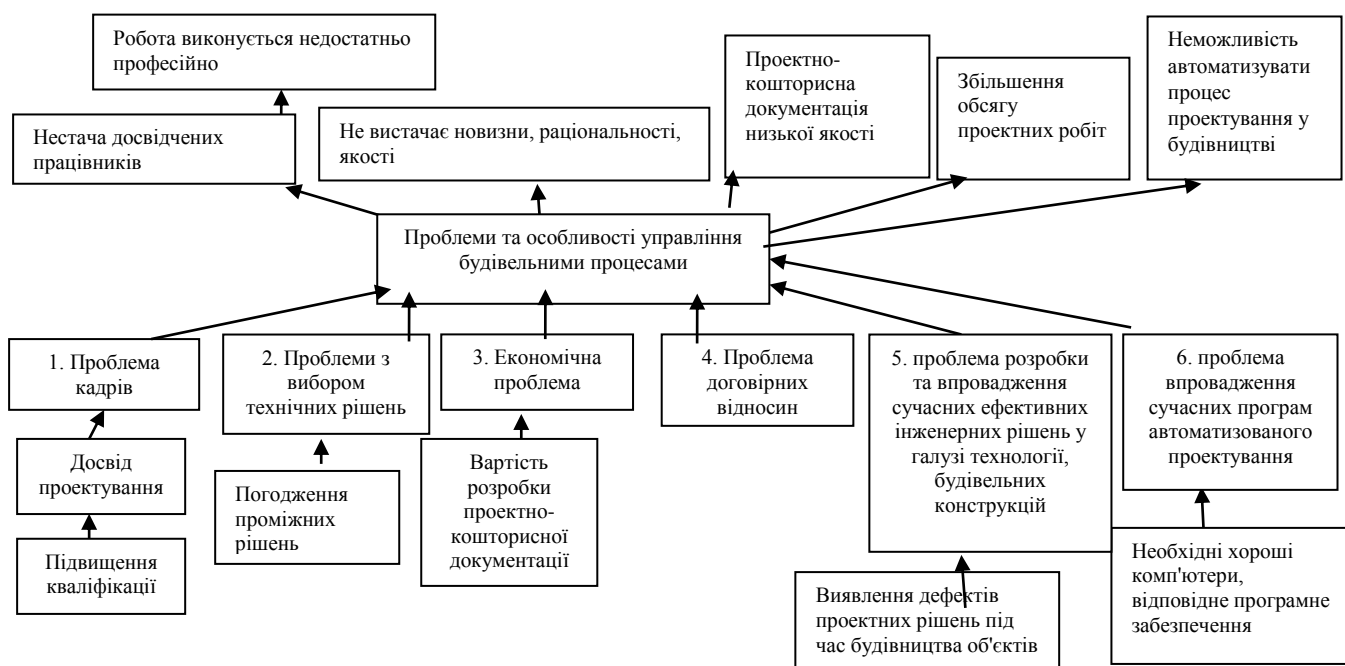


Рис. 1.4 Дерево проблем управління будівельними процесами

### Проблеми регулювання галузі будівництва.

Регулювання будівельної галузі може бути складним через низку факторів. Ось деякі типові проблеми, пов'язані з регулюванням будівельної галузі:

- **Складність.** Будівельна галузь за своєю суттю є складною, залучаючи різні зацікавлені сторони, такі як підрядники, субпідрядники, архітектори, інженери, постачальники та регулюючі органи. Величезна кількість залучених

сторін і складний характер будівельних проектів ускладнюють розробку та впровадження нормативних актів, які всебічно охоплюють усі аспекти.

- **Фрагментація.** Будівельна галузь часто роздроблена з численними малими та середніми підприємствами (МСП), які працюють незалежно. Така фрагментація може призвести до непослідовного дотримання правил, відсутності стандартизації та труднощів у моніторингу та забезпеченні виконання. Для регуляторів стає складно охопити та ефективно регулювати всі суб'єкти.

- **Відсутність стандартизації:** будівельна галузь працює в різних регіонах і юрисдикціях, кожна з яких має свій набір будівельних норм, правил і стандартів. Відсутність стандартизації може створити плутанину, невідповідності та прогалини у дотриманні. Узгодження нормативних актів у різних юрисдикціях є складним завданням, яке вимагає координації та співпраці між різними органами влади.

- **Корупція та неофіційні практики:** будівельна галузь схильна до корупції та неформальних практик, таких як хабарництво, фаворитизм та змова. Ці практики можуть підірвати регуляторні зусилля, послабити підзвітність і поставити під загрозу якість і безпеку будівельних проектів. Регулювання та стримування такої діяльності потребує рішучих антикорупційних заходів і міцної правоохоронної системи.

- **Швидкий технологічний прогрес:** будівельна галузь є свідком швидкого технологічного прогресу, такого як інформаційне моделювання будівель (BIM), робототехніка та автоматизація. Хоча ці інновації пропонують великий потенціал для підвищення ефективності та якості, вони також створюють проблеми для регуляторів. Іти в ногу з технологіями, що розвиваються, і гарантувати, що правила залишаються актуальними та адаптованими, може бути вимогливим.

- **Забезпечення виконання та перевірка:** Ефективне забезпечення виконання будівельних норм має вирішальне значення для забезпечення відповідності та безпеки. Проте обмеження ресурсів, неадекватні механізми

перевірки та обмежений досвід можуть перешкоджати процесу примусового виконання. Регулюючі органи можуть зіткнутися з труднощами під час проведення регулярних перевірок, виявлення порушень і вжиття своєчасних коригувальних заходів.

- Витрати та адміністративний тягар: Дотримання будівельних норм часто тягне за собою додаткові витрати для підприємств. Малі будівельні фірми, зокрема, можуть відчувати труднощі з виконанням нормативних вимог через фінансові обмеження. Надмірні бюрократичні процеси та адміністративний тягар можуть ще більше перешкоджати відповідності та створювати проблеми як для регуляторів, так і для учасників галузі.

- Стійкість до змін: будівельна галузь відома своїм опором змінам і традиційним практикам. Запровадження нових нормативних актів, особливо тих, які вимагають значних змін у методах будівництва чи матеріалах, може наштовхнутися на опір з боку зацікавлених сторін галузі, які віддають перевагу звичним підходам. Цей опір може уповільнити процес регулювання та перешкодити прогресу в таких сферах, як сталість та енергоефективність.

Вирішення цих проблем вимагає комплексного підходу, який включає ефективну координацію між регуляторними органами, зацікавленими сторонами галузі та прийняття інноваційних стратегій, таких як цифрові рішення для моніторингу та відповідності. Вкрай важливо знайти баланс між забезпеченням відповідності, сприянням безпеці та підтримкою зростання та розвитку галузі.

## **1.5 Ефективність системи управління будівельними процесами**

Ефективності управління будівництвом завжди надавалося велике значення, тому що це утворює необхідні передумови для раціональнішого використання усіх видів ресурсів, які забезпечують економію. Будівельна галузь являється однією з найскладніших організаційних та технологічних систем, що використовує різноманітні складові виробництва, які зосереджені в організаціях

зовсім різної підпорядкованості. Будівництво охоплює стадію, яка йде перед виробництвом – це виконання проектно-кошторисної документації і відповідно саму виробничу – здійснення будівельних та монтажних робіт на об'єктах, які відносяться до різних галузей народного господарства, отже управління потребує узгодження інтересів міжвідомчого і міжгалузевого характеру. Особливою проблемою являються питання про регіональне управління будівництвом. Позитивні зрушення в економіці України, які намітилися останнім часом, тепер зруйновані загрозою фінансової кризи. Будівельні підприємства одними із перших уповільнили свою діяльність. В той час загальновідомо, що активізація будівельної діяльності робить усі сфери економіки країни активнішими, а також сприяє виходу з кризи та структурній перебудові господарства.[6]

Система управління процесом будівництва може істотно підвищити ефективність і ефективність будівельних проектів.

Система управління процесом будівництва забезпечує централізовану платформу для спілкування та співпраці між зацікавленими сторонами проекту. Це дозволяє обмінюватися інформацією про проект, документами та оновленнями в режимі реального часу, зменшуючи потребу в тривалих ланцюжках електронних листів або фізичній паперовій роботі. Це спрощує канали зв'язку, покращує прозорість і покращує співпрацю між членами команди.

Системи управління процесом будівництва часто включають інструменти для планування проекту та складання графіку. Ці системи дозволяють керівникам проектів створювати детальні розклади, призначати завдання членам команди та відстежувати прогрес у режимі реального часу. Маючи чітке уявлення про часові рамки проекту, основні етапи та залежності, керівники проектів можуть краще розподіляти ресурси, виявляти вузькі місця та приймати обґрунтовані рішення, щоб продовжувати проект.

Будівельні проекти включають величезну кількість документації, включаючи контракти, креслення, специфікації та замовлення на зміни. Система управління процесом будівництва забезпечує ефективне управління документами, забезпечуючи доступ до останніх версій для відповідних зацікавлених сторін. Це

також полегшує належний контроль версій, усуває ризик використання застарілої інформації та забезпечує безпечно сховище для проектної документації.

Системи управління процесом будівництва допомагають оптимізувати розподіл ресурсів, забезпечуючи видимість доступності, використання та розподілу ресурсів між кількома проектами. Завдяки централізованій системі відстеження праці, обладнання та матеріалів керівники проектів можуть приймати обґрунтовані рішення щодо розподілу ресурсів, мінімізувати відходи та уникати конфліктів або затримок, спричинених браком ресурсів.

Будівельні проекти пов'язані з невід'ємними ризиками та непередбачуваними проблемами, які можуть вплинути на терміни та бюджет проекту. Система управління процесом будівництва дозволяє систематично виявляти, відстежувати та вирішувати проблеми. Це дозволяє командам проекту реєструвати та відстежувати проблеми, призначати обов'язки, установлювати пріоритети та контролювати прогрес до вирішення. Цей проактивний підхід до управління проблемами допомагає мінімізувати вплив ризиків і забезпечує своєчасне пом'якшення.

Системи управління процесом будівництва полегшують контроль якості та дотримання галузевих стандартів і правил. Ці системи можуть містити такі функції, як контрольні списки перевірок, робочі процеси контролю якості та відстеження відповідності. Впроваджуючи стандартизовані процеси та документацію, проектні групи можуть гарантувати, що будівельні роботи відповідають необхідним стандартам якості та нормативним вимогам.

Системи управління процесом будівництва часто забезпечують аналітику та звітність. Керівники проектів можуть створювати звіти про різні ключові показники ефективності (KPI), такі як хід виконання проекту, використання бюджету, продуктивність ресурсів і дотримання графіка. Ці відомості допомагають керівникам проектів відстежувати ефективність проекту, визначати сфери, які потрібно вдосконалити, і приймати рішення на основі даних для оптимізації результатів проекту.

Отже, підводячи підсумок, система управління процесом будівництва ефективно оптимізує комунікацію проекту, покращує планування та розклад, покращує керування документами та даними, оптимізує розподіл ресурсів, зменшує ризики, забезпечує відповідність і надає цінну інформацію про продуктивність. Використовуючи ці переваги, будівельні компанії можуть підвищити ефективність проекту, зменшити витрати, мінімізувати затримки та підвищити загальний рівень успіху проекту.

### **1.6 Аналіз життєвого циклу процесу виконання будівельних робіт**

Довга тривалість експлуатаційної придатності будівель забезпечується технічними оглядами і реалізацією заходів з технічної експлуатації, що розробляються по результатам даних оглядів. Ремонти сповільнюють фізичне зношення будівель. Кількість та періодичність ремонтів визначається диференційно згідно з інтенсивністю зношення елементів конструкцій та цілої будівлі загалом. Ефективні рішення з подовження терміну безпечної експлуатації будівлі неможливо прийняти з відсутністю об'єктивної інформації щодо технічного стану будівельних споруд. Дана інформація отримується через моніторинг технічного стану будівлі. Після проведення моніторингу, за його результатами приймаються рішення про проведення ремонту, підсилення або заміни елементів конструкцій або ліквідації будівельної споруди.

Забезпечення довготривалої експлуатації будівель – є важливою техніко-економічною проблемою проектування, будівництва, експлуатації. Під час проектування повинні бути передбачені такі конструкції та матеріали, які забезпечать нормальне функціонування будинку упродовж строку служби, враховуючи зниження міцності та погіршення технічних характеристик з часом за рахунок зношення, внутрішніх та зовнішніх навантажень та впливу навколишнього середовища, забезпечення нормальної системи ремонту та технічного обслуговування. Але дані запаси міцності повинні бути виправдані

економічно, тому що чим вищою є надійність, тим більшою є вартість будівництва.[7]

Життєвим циклом будівлі називається час від моменту обґрунтування необхідності її зведення і аж до настання економічної недоцільності подальшої його експлуатації (рис 1.5).

Життєвий цикл процесу будівельних робіт зазвичай включає кілька етапів, які можуть змінюватися залежно від проекту та його складності. Нижче наведено сім головних етапів циклу:

1. Ініціація проекту – це фаза, яка передбачає визначення потреби в будівельному проекті та визначення його здійсненності. Містить в собі такі завдання, як визначення цілей проекту, проведення обстеження території, аналіз витрат і отримання необхідних погоджень і дозволів.

2. Проектування та планування. На цьому етапі архітектори, інженери та дизайнери працюють над розробкою дизайну проекту та створенням детальних планів. Вони враховують такі фактори, як структурні вимоги, матеріали, функціональність і естетика. Результатом цього етапу є набір креслень, креслень і специфікацій.

3. Підготовка до будівництва – це етап, який передбачає дії, що готують до фактичних будівельних робіт. Це включає такі завдання, як закупівля будівельних матеріалів, наймання підрядників і субпідрядників, отримання страховки та налаштування систем управління проектами. На цьому етапі також завершуються контракти та угоди.

4. Безпосередньо саме будівництво – на етапі будівництва починається фізична робота. Зазвичай це включає такі дії, як підготовка місця, фундаментні роботи, каркасні конструкції, встановлення інженерних комунікацій (електрика, сантехніка тощо), а також загальний процес будівництва. За виконанням планів і дотриманням правил безпеки стежать будівельники, керівники та керівники проектів.

5. Забезпечення та контроль якості. Упродовж усього процесу будівництва впроваджуються заходи щодо забезпечення та контролю якості, щоб

забезпечити відповідність робіт визначеним стандартам і вимогам. Перевірки, випробування та регулярний моніторинг проводяться для виявлення та усунення будь-яких проблем або недоліків.

6. Введення в експлуатацію та передача – після завершення будівництва будівлю або споруду вводять в експлуатацію, що включає тестування та перевірку функціональності різних систем і компонентів. Після того, як все вважається готовим, проект передається клієнту або кінцевому користувачеві.

7. Фінальним етапом є період після будівництва, тобто після передачі може бути гарантійний період, протягом якого підрядник усуває будь-які дефекти або проблеми, що виникають. Клієнт також може займатися такими видами діяльності, як внутрішнє оздоблення, озеленення та завершення операційних аспектів. Поточне технічне обслуговування та управління об'єктом також мають значення.

Важливо зазначити, що ці етапи не обов'язково є лінійними, і залежно від складності проекту та конкретних обставин можуть бути частки, що збігаються, або ітерації. Ефективне управління проектом і координація між різними зацікавленими сторонами є вирішальними для успішного життєвого циклу будівництва.

Отже, під час життєвого циклу будівлі мають місце дефекти, пошкодження, аварії, які можуть бути викликані несприятливою дією чинників, що непередбачені і систематичним технічним зносом конструктивних вузлів чи елементів в поєднанні з дією експлуатаційних та власних навантажень. Вплив на тривалість життєвого циклу будівельної споруди також мають фактори загального характеру, експлуатаційні і технологічні фактори. Руйнуванню сприяє дія ґрунтової води, негативної температури, повітряного середовища. Якісний моніторинг технічного стану будівлі подовжує її життєвий цикл. Повне і своєчасне виявлення головних дефектів і пошкоджень будівлі, за допомогою моніторингу дає змогу прийняти рішення про доцільність їхнього усунення. Моніторинг супроводжується аналізом можливого розвитку дефектів і пошкоджень внаслідок впливу руйнівних факторів техногенного та

експлуатаційного характеру. Оптимізація тривалості життєвого циклу будівельної споруди є вибором доцільності модернізації, реконструкції, ремонту і ліквідації.

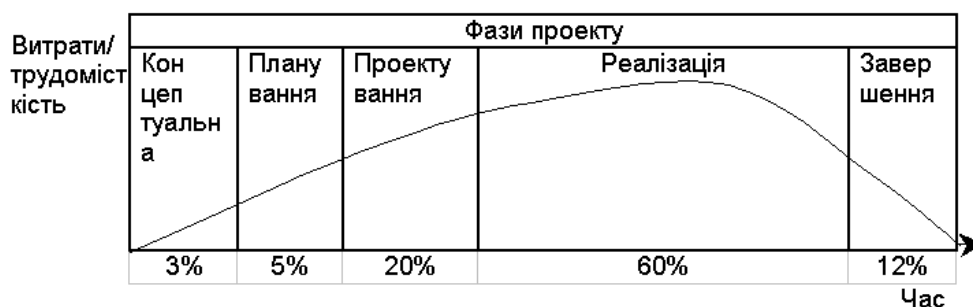


Рис. 1.5 Фази життєвого циклу будівельного проекту

## 1.7 Постановка задачі

1. Виконати постановку задачі управління будівельним процесом темпами у часі виконання буд проекту, визначити параметри цієї задачі.

Вхідними даними є результати аналізу проведені в першому розділі, а також дані про виробничі процеси, які можна отримати з різних джерел (статистичні дані, дані проекту, нормативи).

2. Створити підсистему реалізації фільтра Калмана для управління процесом будівництва. Вихідні дані – дати оцінку визначення швидкості виконання робіт та визначити формулювання реляційних матриць для моделювання відхилень від запланованих темпів виконання робіт. При визначених вхідних даних на першому етапі розробити реалізацію адаптивного фільтра Калмана для відображення та управління ходом процесу виконання будівельних робіт, виведення кривої виконання будівельних робіт з урахуванням реальної ситуації.

## 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 2.1 Методи і моделі управління виконанням будівельних робіт

Як правило, усі будівлі відрізняються одна від одної, як конструктивними рішеннями, так і об'ємно-планувальними. Одні об'єкти складні, інші прості, але є очевидним те, що побудувати їх швидко, з відмінною якістю без попередньої оцінки особливостей об'єкта, складних умов, що виникнуть під час будівельного процесу, теоретично можна, а практично неможливо.

У зв'язку з цим виникає питання, яким способом проаналізувати та оцінити майбутній характер будівництва об'єкта, виявити особливості, що виникнуть та вплинуть на процес будівництва об'єкта. Виходом в даному випадку може бути розробка моделі будівельного виробництва, яка дає змогу задовго до початку будівельного процесу знайти «вузькі» місця і передбачити організаційні заходи, які забезпечуватимуть нормальний перебіг будівельного процесу.

Моделлю є умовний образ об'єкта, що сконструйований зядля спрощення його дослідження. Властивості моделі, зазвичай, дають змогу відобразити властивості оригіналу і розглядаються як елементи для дослідження.

Тобто, роблячи модель організації будівництва, отримується інформація про поведінку передбачуваної організаційної системи будівельного процесу в реальних умовах.

Основними групами моделей є символічні, фізичні, графічні.

Фізичні моделі мають матеріальну систему, яка відрізняється від оригіналу, зазвичай, матеріалами виготовлення, забарвленням, розмірами. Макет будівлі являється найпростішим представником фізичної моделі. Фізичний макет дає змогу отримати загальне уявлення щодо об'єкту. Але макет і його виготовлення не має змоги допомогти будівельникам передбачити складнощі, які виникають в процесі будівництва об'єкту.

Символічними моделями називаються такі моделі, які відображають безпосередньо сам процес створення об'єкта чи системи та описуються за допомогою математичних чи мовних способів у вигляді рівнянь.

Графічні моделі найбільш застосовують задля відображення процесів організації будівництва об'єкта.

Графічною моделлю називається спосіб графічного відображення прийнятої послідовності виконання певних дій під час виконання цілого комплексу робіт або будівництва окремого об'єкта.

Отже, модель відображає послідовність виконання робіт, взаємозв'язок, поєднаність їх між собою. Модель будівництва завжди узгоджується з усіма зацікавленими юридичними і фізичними особами.

Теоретично є відомими та мають практичне застосування такі види графічних моделей організації будівельного виробництва:

- Мережеві моделі.
- Часові мережі Петрі.
- Лінійні (графіки Ганта).

### **2.1.1 Аналітичні методи (матричні)**

Матрична організаційна структура управління побудована на принципі одночасного управління по вертикалі та по горизонталі. Її основу утворює лінійно-функціональна структура управління, яка доповнюється структурами програмного управління. Крім керівника організації призначається керівник програми (зазвичай програми носять міжгалузевий характер), причому ранг керівника програми зазвичай вище за ранг керівника організації.

Керівнику програми підпорядковуються керівники окремих проектів. Вони несуть відповідальність за виконання проектів у певні терміни, із заданою якістю та з обмеженим ресурсним забезпеченням.

Матричні структури управління мають високі функціональні можливості. До їх переваг можна віднести:

- ефективне використання виробничого потенціалу, і, насамперед – кадрового;
- великі можливості оптимізації колективів виконавців, підбору їх за професійно-кваліфікаційними та психологічними якостями;
- можливості реалізації програмно-цільового та проблемно-орієнтованого управління;
- можливості динамічної перебудови структури колективу під час постановки та розв'язання нових завдань.

Недоліки матричних структур:

- необхідність періодичного руйнування структури первинних виробничих колективів;
- складності формування психологічного клімату у колективах;
- необхідність поєднання початку та завершення робіт з окремих проектів;
- необхідність періодичної та радикальної перекваліфікації працівників у зв'язку зі зміною програм.

Матричні структури управління вимагають надзвичайно високої управлінської компетентності керівників і досить дорого коштують підприємствам та організаціям.

### **2.1.2 Графічні моделі**

#### **Мережевий графік**

Мережевим графіком є графічне зображення технологічної послідовності виконання робіт на об'єкті або на кількох об'єктах із зазначенням їхньої тривалості та всіх тимчасових параметрів, і загального терміну будівництва.

Основою управління будівництвом повинна бути модель процесу виконання монтажних і будівельних робіт, від підготовчих робіт до закінчення введенням об'єкта в експлуатацію.

Відмінними рисами мережевого графіка є:

- наявність взаємозв'язку між роботами та технологічною послідовністю їх виконання;
- можливість виявлення робіт, від завершення яких насамперед залежить тривалість будівництва проекту;
- можливість вибору варіантів послідовності та тривалості робіт з метою покращення мережевого графіка;
- полегшення здійснення контролю робіт за ходом будівництва;
- можливість використання електронно-обчислювальної машини для розрахунків параметрів графіка при плануванні та управлінні будівництвом.

Мережевий графік має такий склад: робота, події, очікування, залежності.

Робота є технологічним процесом, який вимагає витрат часу, матеріальних і трудових ресурсів, а також призводить до досягнення певного запланованого результату. Робота на графіку позначається суцільною стрілкою, довжина якої може бути не пов'язана з тривалістю робіт (якщо графік виконаний не в масштабі часу).

Факт закінчення однієї або кількох робіт, необхідних та достатніх для початку наступних робіт, називають подією. Мається на увазі, що подія відбувається миттєво, тому вона не вимагає ні часу, ні матеріальних, ні трудових витрат. Подія зображується у вигляді кола, у якому вказується певний номер – код події. Події можуть бути вихідними, завершальними, початковими та кінцевими. Початкова подія починає будівництво об'єкта і не має попередніх робіт. Цією подією починається розвиток мережного графіка. [8]

Завершальна подія немає наступних робіт і закінчуються роботи у мережевому графіці. Події обмежують розглянуту роботу і стосовно цієї роботи вони можуть бути початковими та кінцевими.

Початкова подія для роботи визначає початок цієї роботи і є кінцевим для попередніх робіт.

Кінцева подія визначає факт закінчення цієї роботи і є початковим для подальших робіт (рис 2.1).

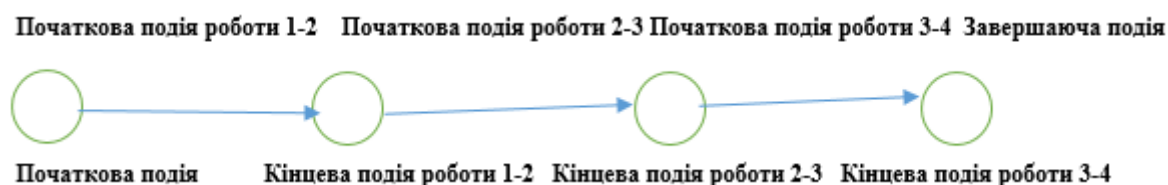


Рисунок 2.1 Фази мережевих графіків

Недоліки лінійних графіків:

Лінійні графіки прості у виконанні та наочно показують хід будівельних робіт. Однак вони не можуть відобразити складність будівельного процесу, що моделюється, у зв'язку з чим мають наступні недоліки:

- календарний графік статичний: він не відображає всієї динаміки будівельного процесу і потребує постійного коригування. Але доки він коригується, погоджується і затверджується, відбуваються нові зміни, внаслідок чого переглянутий графік знову не відображає дійсного стану справ;
- за лінійним графіком важко визначити, як йде будівництво в даний момент – з випередженням або з відставанням, і на який термін;
- за лінійним графіком важко визначити, як відбивається невиконання однієї або декількох робіт на виконанні інших робіт, і на який термін;
- на календарному графіку не виділено роботи, що визначають терміни будівництва; не видно роль другорядних робіт, внаслідок чого керівництво будівництва змушене розпорозувати свою увагу на всіх роботах, не концентруючи його на вирішальних ділянках будівництва;
- лінійний графік не дає можливості прогнозувати хід подій на будівництві, що ускладнює вибір правильного рішення керівником будівництва на виконання наступних робіт.

### Діаграма Ганта

Діаграма Ганта – це інструмент управління проектами, який візуально відображає завдання проекту, їх тривалість і залежності. Він використовує горизонтальні смуги для зображення дат початку та завершення кожного

завдання, що дозволяє керівникам проектів розуміти графік проекту та ефективно планувати завдання (рис. 2.2).

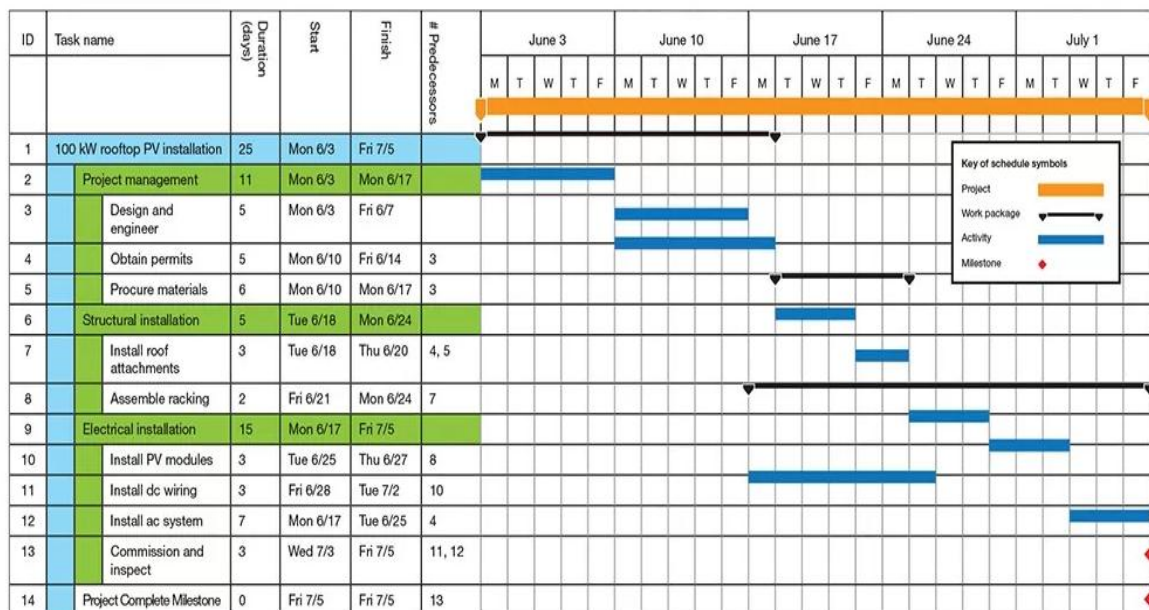


Рис. 2.2 Приклад діаграми Ганта

На діаграмі Ганта кожне завдання представлено у вигляді смуги вздовж горизонтальної шкали часу. Довжина смужки вказує на тривалість завдання, а її положення на часовій шкалі вказує на початок і завершення завдання. Смуги розташовані в хронологічному порядку, забезпечуючи чітке візуальне представлення графіка проекту.

Діаграми Ганта також показують залежності завдань за допомогою сполучних ліній або стрілок. Залежності підсвічують порядок, у якому завдання потрібно виконати, і вказують, які завдання мають бути завершені, перш ніж інші зможуть почати. Це допомагає керівникам проектів визначити критичні шляхи та потенційні вузькі місця в проекті.

Крім того, діаграми Ганта часто містять маркери віх, які представляють важливі події або досягнення в проекті. Віхи допомагають відстежувати прогрес і дозволяють зацікавленим сторонам легко визначати ключові віхи проекту та контролювати прогрес проекту.

Діаграми Ганта широко використовуються в управлінні проектами для планування, планування та відстеження проектів. Вони надають повний огляд

графіків проекту, тривалості завдань, залежностей і етапів. Завдяки візуальному представленню графіків проекту діаграми Ганта допомагають керівникам проектів ефективно розподіляти ресурси, контролювати хід виконання та приймати обґрунтовані рішення, щоб продовжувати проект у потрібному плані.

Оскільки діаграма Ганта краще всього показує тривалість тих чи інших процесів у часі, то буде використовуватися саме вона в даному проекті. [9]

### **Часові мережі Петрі**

Тимчасові мережі Петрі, також відомі як часові мережі Петрі, є розширенням мереж Петрі, які включають поняття часу в моделювання та аналіз систем. Мережі Петрі – це засоби графічного моделювання, які використовуються для опису та аналізу паралельних і розподілених систем. Вони складаються з місць, переходів, дуг, що представляють стани, події, переходи станів і наявність ресурсів або сутностей відповідно.

У часових мережах Петрі кожен перехід асоціюється з часовим обмеженням або тривалістю, що вказує час, необхідний для переходу після того, як усі його вхідні умови задоволені. Ці часові обмеження можуть представляти затримки, тривалість або часові зв'язки між подіями в системі. Тимчасові мережі Петрі дозволяють моделювати як дискретні події, так і часову поведінку системи.

Додавання часу до мереж Петрі дозволяє аналізувати та моделювати залежні від часу властивості систем, такі як продуктивність, планування та часові обмеження. Тимчасові мережі Петрі можна використовувати для вивчення поведінки синхронізації, часу відгуку та крайніх термінів процесів, а також для аналізу продуктивності системи, використання ресурсів і впливу часових обмежень на поведінку системи.

Тимчасові мережі Петрі можна використовувати в різних областях, включаючи виробничі системи, системи реального часу, управління робочими процесами та системи керування процесами. Вони забезпечують формальне та візуальне представлення поведінки системи та дозволяють аналізувати

властивості, пов'язані з часом, за допомогою таких методів, як аналіз досяжності, дослідження простору станів і перевірка моделі

Отже, підсумовуючи, можна сказати, що часові мережі Петрі розширюють можливості мереж Петрі, включаючи часові обмеження та дозволяючи моделювати та аналізувати залежну від часу поведінку в паралельних і розподілених системах. Вони є цінними інструментами для розуміння та вивчення часових аспектів поведінки системи, продуктивності та часових обмежень. [12]

## **2.2 Аналіз факторів впливу на темпи виконання будівельних робіт**

Спираючись на життєвий цикл, виконання всіх будівельних робіт можна розбити на етапи, тоді всі будівельні роботи будуть сукупністю підмножин: будівельні роботи на етапі проектування, етапі підготовки майданчика, етапі будівництва (зведення фундаменту, стіни, покрівля). Можемо представити кожний етап окремою літерою. Всі будівельні роботи є об'єднанням робіт на кожному етапі.

Морфологічно-концептуальна модель.

Використання теоретико-множинних методів при моделюванні систем дозволяє організувати взаємодію та взаєморозуміння між фахівцями різних галузей знань. З їх допомогою можна записати різні визначення системи і вибрати з них те, що найбільшою мірою відображає концепцію дослідників, проектувальників. Ці методи дозволяють описувати систему в універсальних загальних поняттях «множина», «елемент множини» і «відносини на множинах».

В процесі формалізації проводиться перехід від опису системи до побудови математичної моделі.

Враховуючи цілі моделювання, в загальному вигляді систему виконання будівельного процесу можна представити як сукупність множин, що містять інформацію про елементи системи та процеси, що в ній протікають:

$$S = \langle A_s, E_s, T_s \rangle, \quad (2.1)$$

де  $S$  – система виконання будівельного процесу;

$A_s =$  *Ресурси, які складаються з параметрів (P), де:*

P1 – кадри,

P2 – інструменти,

P3 – будівельна техніка,

P4 – фінансові витрати,

P5 – будівельні матеріали,

P6 – комплектуючі.

$E_s =$  *Етапи, ними є:*

E1 - Вибір земельної ділянки,

E2 - Оренда / купівля земельної ділянки,

E3 - Проведення топографічної зйомки і геодезичної експертизи,

E4 - Проектування об'єкта,

E5 - Підготовчий («нульовий») етап будівництва,

E6 - Розмітка осей будівлі,

E7 - Проведення земляних робіт,

E8 - Укладання фундаменту,

E9 - Зведення зовнішніх стін,

E10 - Проведення будівельно-монтажних робіт,

E11 - Внутрішнє оздоблення,

E12 - Облаштування фасаду і прибудинкової території,

E13 - Введення будинку в експлуатацію.

Так як будівельний процес розбивається на етапи, то відводиться час на виконання кожного етапу. Кожний етап складається з виконання конкретних робіт, для кожної роботи передбачається розрахунок нормативів часу на їх виконання, де час залежить від трудомісткості роботи. На час виконання робіт впливає такий фактор як технологія (технологічний час). Порушення часових меж

технологічного процесу сильно впливає на якість, а тому відставання в деяких роботах може негативно позначитися на часових характеристиках виконання всього проекту. Отже на часові характеристики впливають параметри, наявність ресурсів, які визначені вище, впливає логістика, технологія, зовнішні фактори.

*T<sub>s</sub> – Час:*

T1 – роботи, що були виконані до моменту  $t_0$ ,

T2 – ресурси, накопичені до часту  $t_0$ ,

T3 – ресурси, надходження яких ідбулося в  $t_0$ ,

T4 – Своєчасна доставка необхідних комплектуючих,

T5 – Наявність інструментів,

T6 – Постачання комплектуючих та матеріалів залежить від наявності продуктивності роботи постачальників,

T7 – Загальний час, що відводиться.

Для управління в часі потрібно визначити основні параметри виконання проекту до яких може відноситися швидкість.

Важливо дотримуватися саме часових характеристик загальних (початок і завершення). За рахунок того, що деякі роботи можуть виконуватися паралельно, то можна варіювати виконанням робіт для коригування часу.

### **2.3 Аналіз методів визначення темпу виконання будівельних робіт**

За допомогою програми Excel було введено дані кожного етапу будівельного процесу, а також зазначено початок даних етапів та їхня тривалість і занесено в таблицю. За допомогою вбудованих функцій програми є можливість побудови різних діаграм, але в даній роботі використовується саме діаграма Ганта, що побудована на основі даних про етапи будівництва (рис. 2.3).

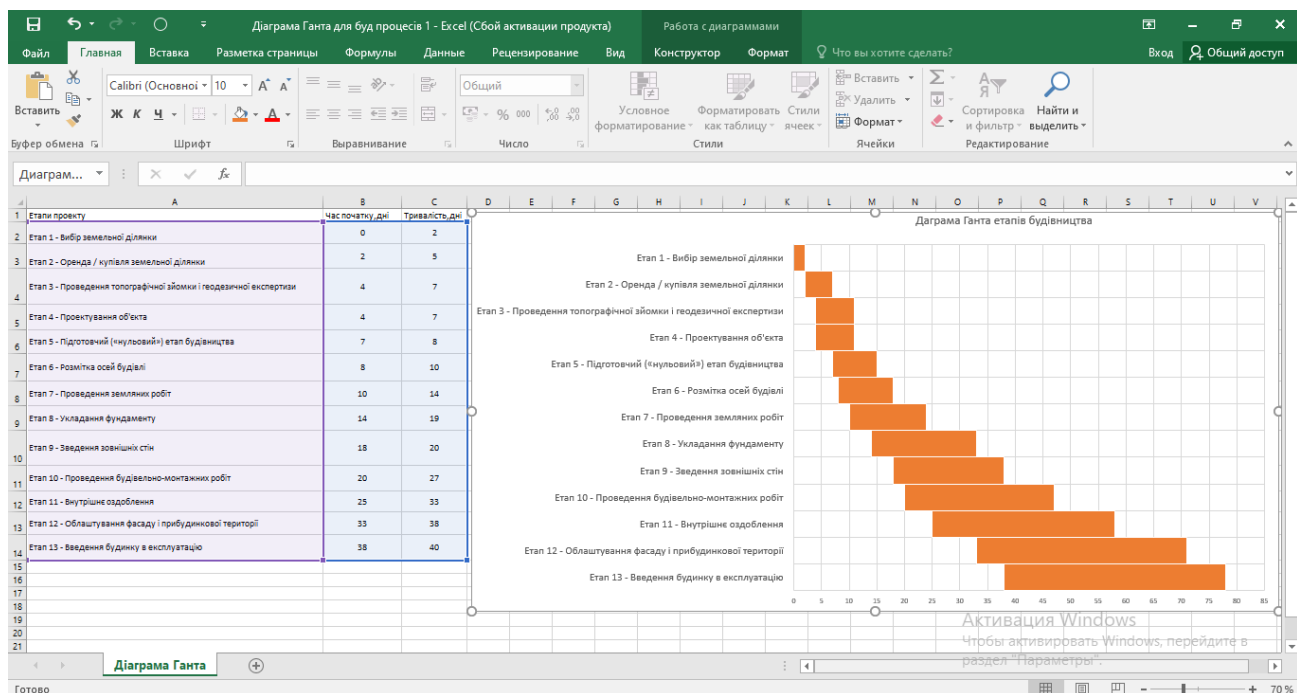


Рис. 2.3 Реалізація діаграми Ганта в програмі Excel

Діаграма Ганта допомагає наочно продемонструвати виконання будівельних робіт та відстежити тривалість виконання кожного етапу у днях. По вертикалі позначені пронумеровані етапи з назвами робіт, по горизонталі – кількість днів. Також зазначено відсоткове значення кожного етапу (рис. 2.4). За допомогою чорних точок на діаграмі вказано основні п'ять етапів, значення яких беруться для інтерполяції методом Ньютона.

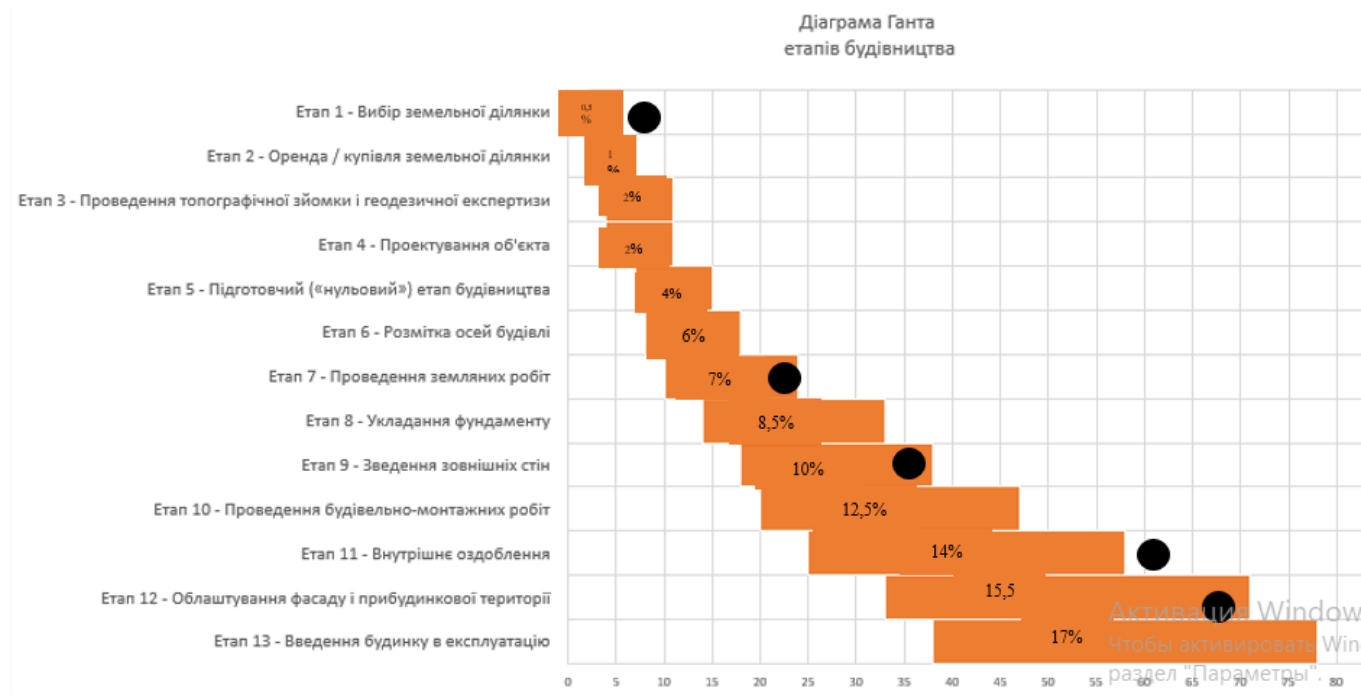


Рис. 2.4 Відсоткові значення кожного етапу будівельного процесу на діаграмі Ганта

Поліном Ньютона – це форма запису полінома  $n$ -го ступеня, який проходить через усі задані точки з набору значень. Така форма є більш зручною формою представлення інтерполяційного полінома для ручних розрахунків, так як при додаванні додаткового вузла всі обчислені раніше доданки залишаються без зміни, а до виразу додається тільки один новий доданок.

Інтерполяційна формула Ньютона у загальному випадку (не рівновіддалені вузли):

$$P_n(x) = f(x_0) + (x - x_0)f(x_0, x_1) + (x - x_0)(x - x_1)f(x_0, x_1, x_2) + \dots + (x - x_0) \dots (x - x_{n-1})f(x_0, x_1, \dots, x_n)$$

де  $f(x_0, x_1, x_2, \dots, x_i)$  – розділені різниці  $i$ -го порядку.[14]

Х (кількість днів)	у (об`єм виконаних робіт у відсотках)
36	0.17
31	0.14
17	0.1
13	0.07
6	0.005

Обчислення поліному по формулі:

$$\begin{aligned}
 P_n(x) = & 2 + \left( \frac{2}{\frac{1}{200} - \frac{2}{25}} + \frac{16}{\frac{2}{25} - \frac{1}{200}} \right) \left( x - \frac{1}{200} \right) \\
 & + \left( \frac{2}{\left( \frac{1}{200} - \frac{2}{25} \right) \left( \frac{1}{200} - \frac{3}{25} \right)} + \frac{16}{\left( \frac{2}{25} - \frac{1}{200} \right) \left( \frac{2}{25} - \frac{3}{25} \right)} + \frac{25}{\left( \frac{3}{25} - \frac{1}{200} \right) \left( \frac{3}{25} - \frac{2}{25} \right)} \right) \left( \left( x - \frac{1}{200} \right) \left( x - \frac{2}{25} \right) \right) \\
 & + \left( \frac{2}{\left( \left( \frac{1}{200} - \frac{2}{25} \right) \left( \frac{1}{200} - \frac{3}{25} \right) \right) \left( \frac{1}{200} - \frac{4}{25} \right)} + \frac{16}{\left( \left( \frac{2}{25} - \frac{1}{200} \right) \left( \frac{2}{25} - \frac{3}{25} \right) \right) \left( \frac{2}{25} - \frac{4}{25} \right)} + \frac{25}{\left( \left( \frac{3}{25} - \frac{1}{200} \right) \left( \frac{3}{25} - \frac{2}{25} \right) \right) \left( \frac{3}{25} - \frac{4}{25} \right)} \right) \\
 & + \frac{37}{\left( \left( \frac{4}{25} - \frac{1}{200} \right) \left( \frac{4}{25} - \frac{2}{25} \right) \right) \left( \frac{4}{25} - \frac{3}{25} \right)} \left( \left( \left( x - \frac{1}{200} \right) \left( x - \frac{2}{25} \right) \right) \left( x - \frac{3}{25} \right) \right) \\
 & + \left( \frac{2}{\left( \left( \left( \frac{1}{200} - \frac{2}{25} \right) \left( \frac{1}{200} - \frac{3}{25} \right) \right) \left( \frac{1}{200} - \frac{4}{25} \right) \right) \left( \frac{1}{200} - \frac{17}{100} \right)} + \frac{16}{\left( \left( \left( \frac{2}{25} - \frac{1}{200} \right) \left( \frac{2}{25} - \frac{3}{25} \right) \right) \left( \frac{2}{25} - \frac{4}{25} \right) \right) \left( \frac{2}{25} - \frac{17}{100} \right)} \right) \\
 & + \frac{25}{\left( \left( \left( \left( \frac{3}{25} - \frac{1}{200} \right) \left( \frac{3}{25} - \frac{2}{25} \right) \right) \left( \frac{3}{25} - \frac{4}{25} \right) \right) \left( \frac{3}{25} - \frac{17}{100} \right)} + \frac{37}{\left( \left( \left( \left( \frac{4}{25} - \frac{1}{200} \right) \left( \frac{4}{25} - \frac{2}{25} \right) \right) \left( \frac{4}{25} - \frac{3}{25} \right) \right) \left( \frac{4}{25} - \frac{17}{100} \right)} \right) \\
 & + \frac{40}{\left( \left( \left( \left( \left( \frac{17}{100} - \frac{1}{200} \right) \left( \frac{17}{100} - \frac{2}{25} \right) \right) \left( \frac{17}{100} - \frac{3}{25} \right) \right) \left( \frac{17}{100} - \frac{4}{25} \right) \right) \right) \left( \left( \left( \left( x - \frac{1}{200} \right) \left( x - \frac{2}{25} \right) \right) \left( x - \frac{3}{25} \right) \right) \left( x - \frac{4}{25} \right) \right) \right)
 \end{aligned}$$

Рис. 2.5 Загальний вид поліному Ньютона

На основі точок, заданих в таблиці та формули побудовано графік інтерполяції, де синіми точками позначено основні етапи будівництва (рис. 2.6).

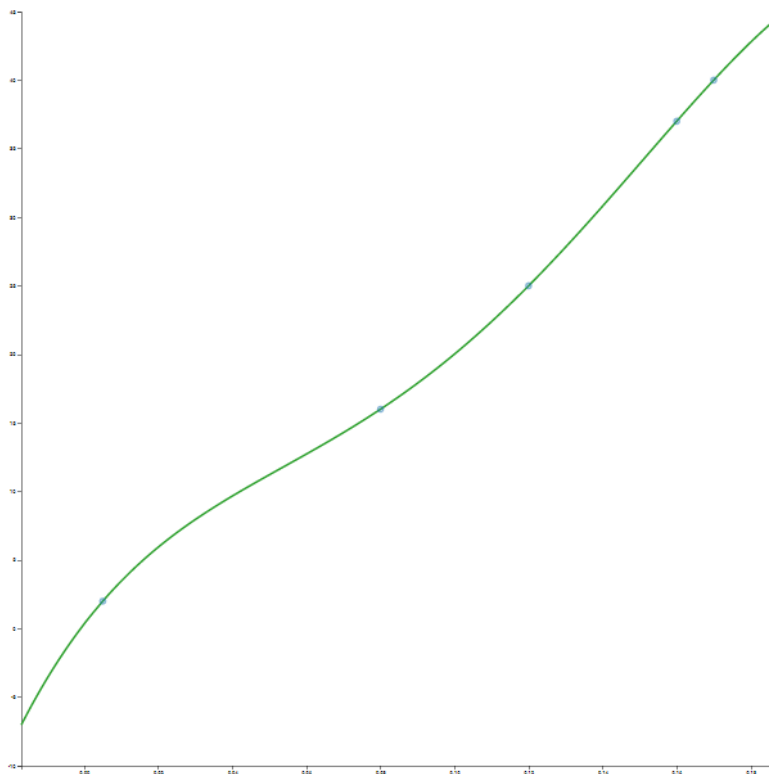


Рис. 2.6 Графік точок інтерполяції поліномом Ньютона

## **2.4 Адаптивна фільтрація**

Адаптивна фільтрація – це техніка обробки сигналу, яка дозволяє регулювати параметри фільтра в реальному часі на основі характеристик вхідного сигналу. Він використовується для виділення або посилення певних компонентів сигналу шляхом динамічного налаштування коефіцієнтів або характеристик фільтра відповідно до мінливих властивостей вхідного сигналу.

Основна мета адаптивної фільтрації – зменшити шум, перешкоди або спотворення, наявні в сигналі, зберігаючи або покращуючи потрібні компоненти. Це досягається шляхом постійного оновлення параметрів фільтра на основі спостережуваного вхідного сигналу та бажаного виходу. Процес адаптації зазвичай передбачає ітераційне коригування коефіцієнтів фільтра з використанням алгоритмів, які мінімізують похибку між бажаним виходом і фактичним виходом.

Адаптивна фільтрація знаходить застосування в різних сферах, включаючи комунікації, обробку звуку, обробку зображень, системи керування та обробку біомедичних сигналів.

Загалом, адаптивна фільтрація – це потужна техніка обробки сигналу, яка дає змогу в режимі реального часу регулювати параметри фільтра для вилучення або покращення бажаних компонентів сигналу, одночасно пригнічуючи небажані шуми чи спотворення.[15]

## **2.5 Фільтр Калмана**

### **2.5.1 Загальна інформація**

Фільтр Калмана – це алгоритм, який використовується в системах обробки сигналів і керування для оцінки стану системи за наявності шумів або неповних вимірювань. Це оптимальний рекурсивний алгоритм, який оновлює свою оцінку

на основі нових вимірювань, а також враховує динаміку системи та статистичні характеристики шуму.

Основними переваги фільтра Калмана є те, що:

Він забезпечує найкращу лінійну неупереджену оцінку стану системи, враховуючи доступні вимірювання та статистичні властивості шуму. Він оптимально поєднує інформацію як від вимірювань, так і від динаміки системи для отримання максимально точної оцінки.

Фільтр оновлює свою оцінку ітераційно, коли стають доступними нові вимірювання. Це дозволяє оцінювати та відстежувати стан системи в реальному часі, що робить його придатним для додатків, які потребують постійного моніторингу та адаптації.

Він є адаптивним за своєю природою, тобто він може обробляти змінну в часі динаміку системи та адаптуватися до мінливих умов. Тобто, фільтр коригує свою оцінку на основі поточних вимірювань і за потреби оновлює свою внутрішню модель системи.

Стійкий до шуму, фільтр Калмана враховує статистичні властивості шуму вимірювання та динаміку системи, що дозволяє йому ефективно обробляти шуми та невизначені вимірювання. А також забезпечує більш надійну оцінку, включаючи характеристики шуму в процес оцінки.

Є ефективним в обчисленнях, що і робить його придатним для програм реального часу з обмеженими ресурсами обробки. Його обчислювальна складність є лінійною по відношенню до розмірності стану системи, що дозволяє ефективно впроваджувати навіть для систем із великим простором станів.

Отже, фільтр Калмана є універсальним та має широкий спектр застосувань у різних сферах, включаючи навігацію, стеження, системи керування, робототехніку та обробку сигналів.

Фільтр застосовують у багатьох різних галузях знань. Та найчастішим є його використання як інструменту для вирішення двох певних завдань: планування експерименту і завдання оцінювання.

Функція, що є першою – це оцінка стану динамічної системи. При глибшому розгляді всі фізичні системи являються динамічними в тій або іншій мірі. Якщо ж є необхідність точно дати оцінку параметрам системи, які змінюються у часі, то тоді потрібно обов'язково враховувати динаміку системи.

Основною проблемою є те, що динаміка системи не завжди відома достатньо точно і найкраще, що можна зробити – висловити відсутність знань точно, використавши ймовірність. Фільтр Калмана має змогу дати оцінку стану динамічної системи з деякими типами випадкових процесів, використовуючи при цьому відповідну інформацію по статистиці.

Другою функцією являється планування експерименту. Цілями, що ставить перед собою планування є підбір відповідного найкращим чином датчика, тобто тип датчика, орієнтація щодо вимірюваної системи, місце розташування, в залежності від висунутих критеріїв, якими можуть бути: вартість системи, допустимі межі невизначеності оцінки тощо.

Фільтр Калмана є потужним алгоритмом оцінки, який забезпечує оптимальну та рекурсивну оцінку стану за наявності шуму та невизначеності. Його переваги включають оптимальне оцінювання, рекурсивне оновлення, адаптивність, стійкість до шуму, ефективність обчислень і універсальність у додатках.

### **2.5.2 Побудова фільтра Калмана**

Стан виконання будівельного проекту  $x_k$  має позицію, яка визначає етап виконання і швидкість виконання цього проекту.

$$\vec{x}_k = (\vec{p}, \vec{v}) \quad (2.2)$$

Треба зазначити, що станом є лише список чисел, який задає конфігурацію даної системи, це може бути будь-що. У даному прикладі це вектор швидкості та

позиція, але це можуть бути дані про температуру двигуна автомобіля, кількість рідини в цистерні тощо.

Будівельний проект також має службу контролю за виконанням проекту, що має якусь точність, і тому є необхідність знати місцеположення більш точно. Але самої служби контролю за виконанням проекту недостатньо.

Треба поглянути на інформацію, яку є намагання інтерпретувати. Стан виконання будівельного проекту залежить від позиції та швидкості виконання роботи:

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} p \\ v \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Але так як відсутні дані про істинні позиції та швидкості, на них впливають різні фактори.

Фільтр Калмана робить припущення, що обидві змінні, в даному прикладі цими змінними є позиція та швидкість, являються випадковими та мають *гауссовий розподіл*. Кожна змінна має **середнє** значення  $\mu$ , що є центром випадкового розподілу та найімовірнішим станом, і також **дисперсію**  $\sigma^2$ , яка є мірою невизначеності.

Дана задача описана за допомогою матриці, в якій стан визначається позицією та швидкістю, а вплив факторів є кореляційною матрицею, що буде розміром два на два і буде визначати вплив позиції на позицію, позицію на швидкість, швидкість на позицію, швидкість на швидкість.

Моделювання даного знання про стан відбувається як гауссовий розподіл, тому є потреба у двох елементах інформації під час  $k$ : найкраще можливе значення буде позначатися як  $x_k$ , а коваріаційна матриця як  $P_k$ .

$$x_k = \begin{pmatrix} \text{position} \\ \text{velocity} \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

$$P_k = \begin{pmatrix} \Sigma_{pp} & \Sigma_{pv} \\ \Sigma_{vp} & \Sigma_{vv} \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Існує потреба у способі, який дозволяє поглянути на **поточний стан**, під час **k-1**, та **спрогнозувати новий стан** під час **k**. Є невідомим, який стан є реальним, але для даної функції прогнозування це не є важливим. Функція просто опрацює *всі стани* та поверне новий розподіл.[19]

### 2.5.3 Прогнозування

Матриця коваріації отримує *кожну точку* у вихідному можливому значенні і переміщає ці точки у нове передбачене місце, тобто у те, куди система перемістилася б, якби вихідне можливе значення було істиною.

Для використання матриці для прогнозування позиції і швидкості в наступний момент часу у майбутньому потрібно скористатися кінетичною формулою:

$$p_k = p_{k-1} + \Delta t v_{k-1} \quad (2.6)$$

$$v_k = v_{k-1} \quad (2.7)$$

Позиція визначається через попередню, що додається до приросту часу помноженого на швидкість, а швидкість визначається як попередня.

Тобто іншими словами:

$$x_k = \begin{pmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{pmatrix} x_{k-1} = F_k x_{k-1} \quad (2.8)$$

Отже, виходячи з попереднього положення з врахуванням впливів є можливість визначити наступну позицію (рис. 2.7.).

### 2.5.4 Корекція

Йде включення третього компоненту у дану формулу – управління через прискорення  $\mathbf{a}$ :

$$p_k = p_{k-1} + \Delta t v_{k-1} + \frac{1}{2} a \Delta t^2 \quad (2.9)$$

$$v_k = v_{k-1} + a \Delta t \quad (2.10)$$

У матричному вигляді:

$$x_k = F_k x_{k-1} + \frac{\Delta t^2}{2} a = F_k x_{k-1} + B_k \vec{\mu}_k \quad (2.11)$$

Прискорення дає можливість управляти.  $\vec{\mu}_k$  є вектором управління. Перших два компоненти – це прогноз, третім компонентом є матриця  $B_k$ , що являється матрицею управління. Відбувається процес корекції.

Кожен стан у вихідному значенні може переміститися в *діапазон* станів. Оскільки тут використовуються гаусові розподіли, можна зазначити, що кожна точка  $x_{k-1}$  переміщається кудись усередині гауссового розподілу з коваріацією  $Q_k$ . Тобто, можна сказати, що невідслідковувані впливи можна вважати як шум з коваріацією  $Q_k$

Розширена коваріація отримується додаванням  $Q_k$ , що дає повне вираження кроку прогнозування :

$$x_k = F_k x_{k-1} + B_k \vec{\mu}_k \quad (2.12)$$

$$P_k = F_k P_{k-1} F_k^T + Q_k \quad (2.13)$$

Отже, нове найкраще можливе значення являється прогнозом, який зроблений з попереднього кращого можливого значення плюс поправка на відомі зовнішні дії.

Нова невизначеність прогнозується зі старої невизначеності з додатковою невизначеністю, що була викликана оточенням.

З кожного свідчення, що спостерігається, можна припустити, що система знаходилася в деякому стані. Але оскільки присутня невизначеність, деякі стани з більшою ймовірністю, ніж інші можуть створювати показання.

Слід позначити коваріацію даної невизначеності, як приклад, шум датчиків, як  $R_k$ . Розподіл має середнє значення, що дорівнює спостережуваному показанню, яке має назву  $z_k$ .

Тобто існує два гаусові розподіли: один оточує середнє значення перетвореного прогнозу, а другий оточує дійсні показання датчика.

Якщо перемножити два гаусові розподіли з власними середніми значеннями та коварійними матрицями, отримується *новий* гаусовий розподіл із **власним** середнім значенням і коваріаційною матрицею.

Одновимірна крива Гауса з дисперсією  $\sigma^2$  та середнім значенням  $\mu$  задається таким чином:

$$N(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.14)$$

$$N(x, \mu_0, \sigma_0) \cdot N(x, \mu_1, \sigma_1) = N(x, \mu', \sigma') \quad (2.15)$$

Якщо підставити в це рівняння попереднє і виконати операції алгебри, то результат буде таким:

$$\mu' = \mu_0 + \frac{\sigma_0^2(\mu_1 - \mu_0)}{\sigma_0^2 + \sigma_1^2} \quad (2.16)$$

$$\sigma'^2 = \sigma_0^2 - \frac{\sigma_0^4}{\sigma_0^2 + \sigma_1^2} \quad (2.17)$$

Можна спростити рівняння, винісши за дужки невелику частину і позначивши її як  $k$ :

$$k = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_0^2 + \sigma_1^2} \quad (2.18)$$

$$\mu' = \mu_0 + k(\mu_1 - \mu_0) \quad (2.19)$$

$$\sigma'^2 = \sigma_0^2 - k\sigma_0^2 \quad (2.20)$$

Якщо  $\Sigma$  – є коваріаційною матрицею гаусового розподілу, а  $\vec{\mu}'$  середнім вздовж кожної з осей, то тоді:

$$K = \Sigma_0 + (\Sigma_0 - \Sigma_1)^{-1} \quad (2.21)$$

$$\vec{\mu}' = \vec{\mu}_0 + K(\vec{\mu}_1 - \vec{\mu}_0) \quad (2.22)$$

$$\Sigma' = \Sigma_0 + K\Sigma_0 \quad (2.23)$$

$K$  - це матриця, що називається коефіцієнтом посилення Калмана.

Існує два розподіли: спрогнозований вимір з  $(\mu_0, \Sigma_0) = (H_k x_k, H_k P_k H_k^T)$  і спостережуваний вимір з  $(\mu_1, \Sigma_1) = (\vec{z}_k, R_k)$ . Можна просто підставити їх в останнє рівняння та знайти їхнє накладення:

$$H_k x_k' = H_k x_k + K(\vec{z}_k - H_k x_k) \quad (2.24)$$

$$H_k P_k' H_k^T = H_k P_k H_k^T - K H_k P_k H_k^T \quad (2.25)$$

І з цього коефіцієнт посилення Калмана дорівнює:

$$K = H_k P_k H_k^T (H_k P_k H_k^T + R_k)^{-1} \quad (2.26)$$

Також є можливим усунення  $H_k$  з початку кожного члена у двох попередніх рівняннях, а  $H_k^T$  прибрати з кінця всіх членів рівняння  $P_k'$ .

$$x_k' = x_k + K(\vec{z}_k - H_k x_k) \quad (2.27)$$

$$P_k' = P_k - K H_k P_k \quad (2.28)$$

$$K = P_k H_k^T (H_k P_k H_k^T + R_k)^{-1} \quad (2.29)$$

В підсумку отримуються повні рівняння для кроку оновлення (рис. 2.8).

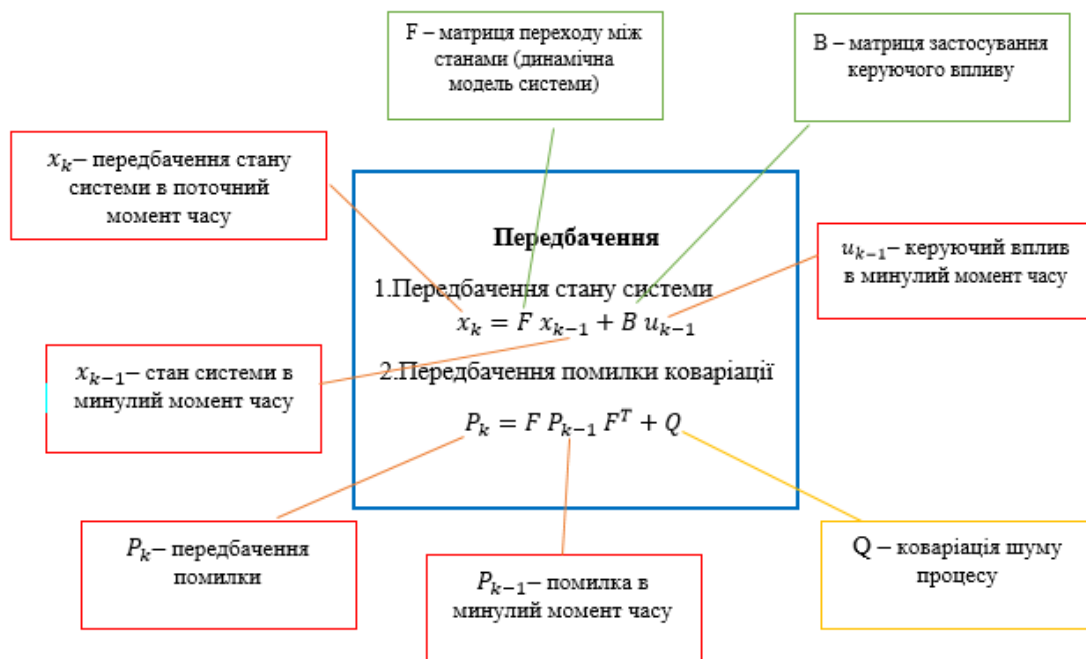


Рисунок 2.7 Схема процесу передбачення при роботі фільтра Калмана

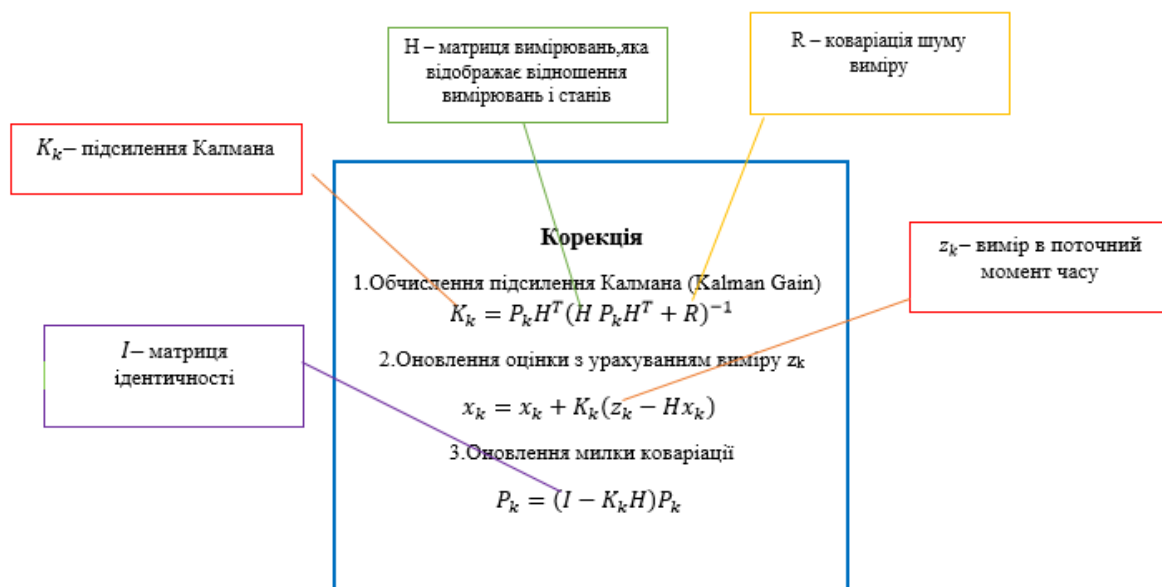


Рисунок 2.8 Схема процесу корекції при роботі фільтра Калмана

### 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

#### 3.1 Обґрунтування вибору програмного засобу для реалізації проекту

Реалізувати дану роботу можна було різними засобами, на мові С, С++ або іншими, але для реалізації було обрано саме Matlab оскільки цей пакет ідеально підходить для вирішення даної задачі і містить в собі великий інструментарій для цього.

Matlab – це середовище та мова програмування, які широко використовуються в різних галузях, зокрема в математиці, інженерії та наукових дослідженнях. Він надає повний набір інструментів і функцій для чисельних обчислень, аналізу даних, візуалізації та розробки алгоритмів.

Програма Matlab, також відома як М-файл, – це текстовий файл, що містить послідовність команд і функцій Matlab. Це дозволяє користувачам писати та виконувати код для виконання певних завдань або вирішення проблем.

Програми Matlab забезпечують потужну та гнучку платформу для аналізу даних, розробки алгоритмів і наукових обчислень. Вони дозволяють користувачам ефективно виконувати складні обчислення, візуалізувати дані та вирішувати широкий спектр математичних та інженерних задач.

Matlab, як мова програмування, була розроблена в кінці 1970-х років з метою полегшення процесів програмування для студентів, а мова розділу Simulink отримала назву візуального проектування. Нова мова була з великим інтересом зустрінута вченими, що працюють в області прикладної математики.  
[20]

Компанія Mathworks поставляє набори інструментів, які використовуються в багатьох областях.[21]

Типове використання Matlab включає в себе:

- Математика та обчислення
- Розробка алгоритму

- Моделювання, моделювання та прототипування
- Аналіз даних, дослідження та візуалізація
- Наукова та інженерна графіка
- Розробка додатків, включаючи побудову графічного інтерфейсу користувача

користувача

Система Matlab складається з п'яти основних частин:

Мова Matlab.

Це високорівнева мова матриць/масивів із операторами потоку керування, функціями, структурами даних, введенням/виведенням і функціями об'єктно-орієнтованого програмування. Це дозволяє як «програмувати в малому» для швидкого створення швидких і брудних одноразових програм, так і «програмувати в великому» для створення завершених великих і складних прикладних програм.

Робоче середовище Matlab.

Це набір інструментів і засобів, з якими працює користувач або програміст Matlab. Він містить засоби для керування змінними у робочій області та імпорту й експорту даних. Він також містить інструменти для розробки, керування, налагодження та профілювання М-файлів, програм Matlab.

Графіки.

Це графічна система Matlab. Вона містить команди високого рівня для двовимірної та тривимірної візуалізації даних, обробки зображень, анімації та презентаційної графіки. Вона також містить команди низького рівня, які дозволяють повністю налаштувати зовнішній вигляд графіки, а також створити повний графічний інтерфейс користувача у програмах Matlab.

Бібліотека математичних функцій Matlab.

Це велика колекція обчислювальних алгоритмів, починаючи від елементарних функцій, як-от сума, синус, косинус і комплексна арифметика, до складніших функцій, як-от обернення матриці, власні значення матриці, функції Бесселя та швидке перетворення Фур'є.

Matlab Application Program Interface (API).

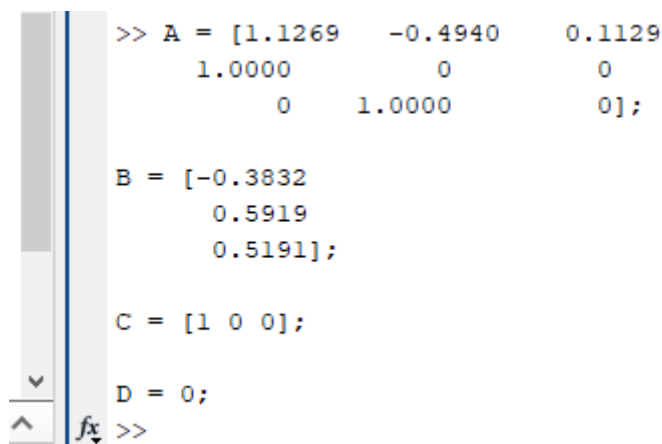
Це бібліотека, яка дозволяє писати програми на C і Fortran, які взаємодіють з Matlab. Він містить засоби для виклику підпрограм з Matlab (динамічне зв'язування), виклику Matlab як обчислювального механізму, а також для читання та запису MAT-файлів.

### 3.2 Робота зі змінними в Matlab

Інтерфейс у середовищі Matlab дуже простий і зрозумілий, розберемо приклад створення деякої змінної в яку помістимо дані звичайної квадратної матриці.

Matlab – система, спеціально призначена для здійснення складних обчислень з векторами, матрицями та поліномами. Під вектором у MatLAB розуміється одновимірний масив чисел, а під матрицею - двовимірний масив. При цьому за умовчанням передбачається, що будь-яка задана змінна є вектором або матрицею. Наприклад, окреме задане число система сприймає як матрицю розміром (1\*1), а вектор-рядок з N елементів - як матрицю розміром (1\*N).

Введення значень елементів матриці здійснюється MatLAB в квадратних дужках, по рядках. При цьому елементи рядка матриці один від одного відокремлюються пробілом або комою, а рядки один від одного відокремлюються знаком ";" (рис. 3.1). Нижче приведено приклад вводу матриць у програмній реалізації про яку йдеться у наступних підрозділах.



```
>> A = [1.1269   -0.4940   0.1129
        1.0000         0         0
         0   1.0000         0];

B = [-0.3832
      0.5919
      0.5191];

C = [1 0 0];

D = 0;

fx >>
```

Рис. 3.1 Задання матриці

Такоє є можливість задавати матрицю в таблиці як показано у прикладі нижче (рис. 3.2).

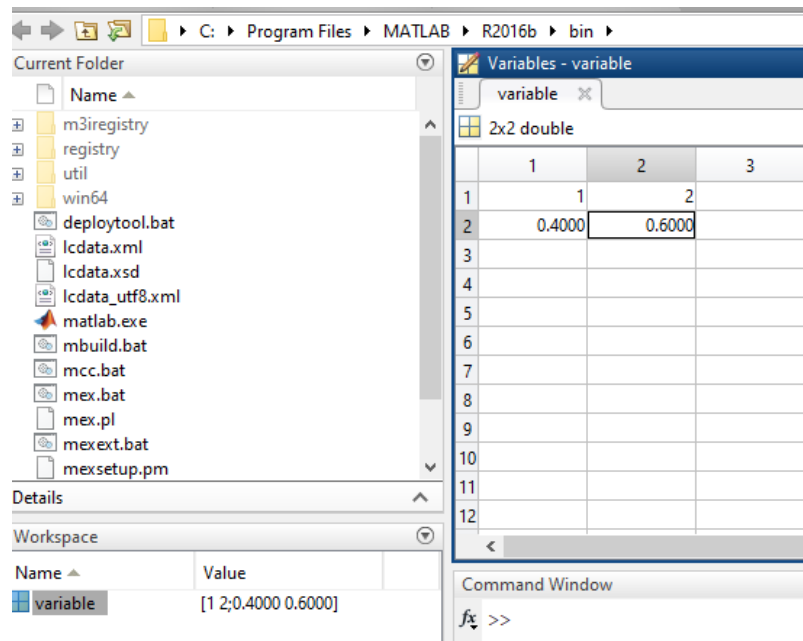


Рис. 3.2 Створення матриці в змінній під назвою «variable»

Для цього в області під назвою Workspace натискаємо праву кнопку миші і створюємо нову змінну, даємо назву, натискаємо два рази на неї і після цього з'являються поля таблиці в які потрібно вводити дані. В нашому випадку це дані квадратної матриці з такими значеннями: (1, 2, 0.4, 0.6) (Рис 3.2).

Для демонстрації того, що дані було збережено в дану змінну у вікні Command Window вводимо її назву і натискаємо клавішу Enter. Числа виводяться з дробовими частинами (Рис 3.3).

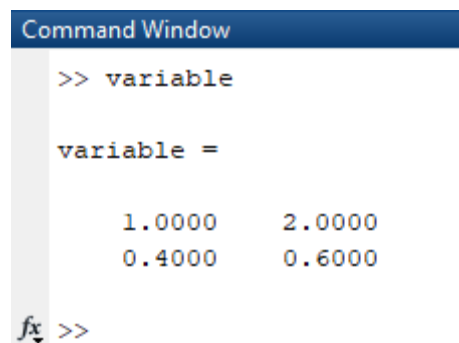


Рис. 3.3 Вивід матриці у командному вікні

Раніше створені змінні є змога використовувати в Simulink, для цього потрібно його відкрити, зайти в бібліотеку, яка є дуже великою і різноманітною, і обрати елемент під назвою Constant і перетаскуємо її на поле для побудови схеми (Рис. 3.4).

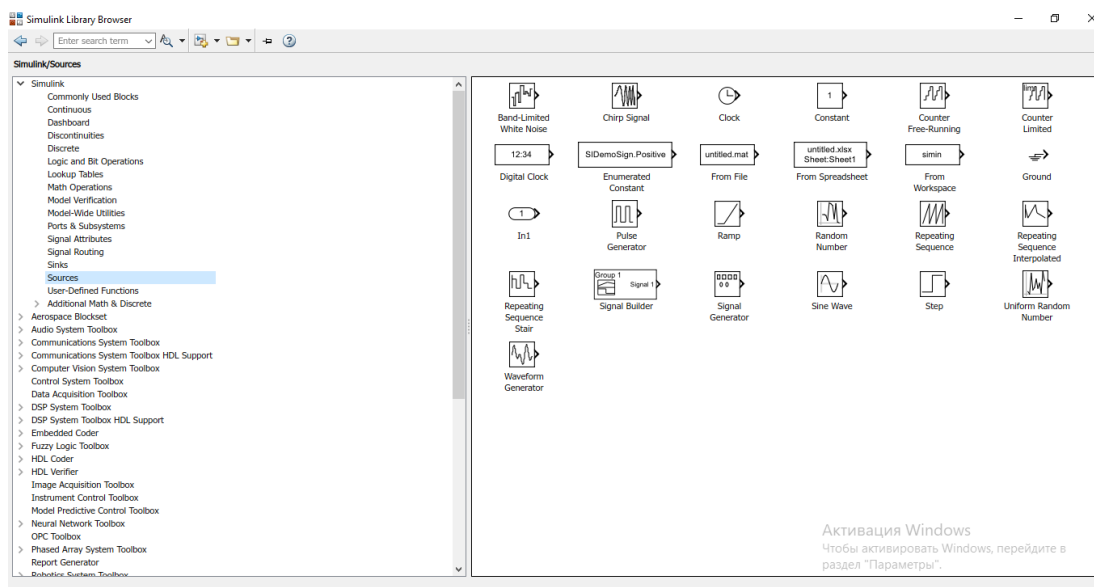


Рис. 3.4 Бібліотека Simulink

Коли це зроблено потрібно натиснути два рази на фігурку константи і дати їй назву тієї змінної, що використовувалася раніше, таким чином Matlab дозволяє використовувати дані змінної в Simulink (рис. 3.5).

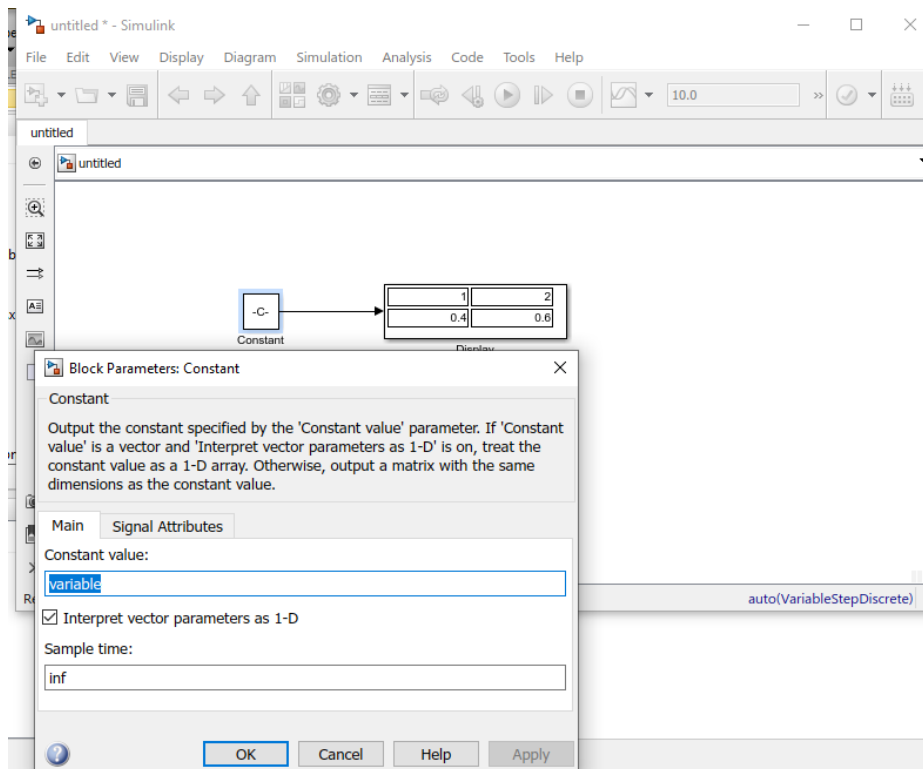


Рис. 3.5 Задання значення константи в Simulink

Знову заходимо в бібліотеку, знаходимо там Display, який нам наочно продемонструє, що це працює і під'єднуємо до нього нашу константу. Натискаємо кнопку Play, що знаходиться на верхній панелі і спостерігаємо за результатом (рис. 3.6).

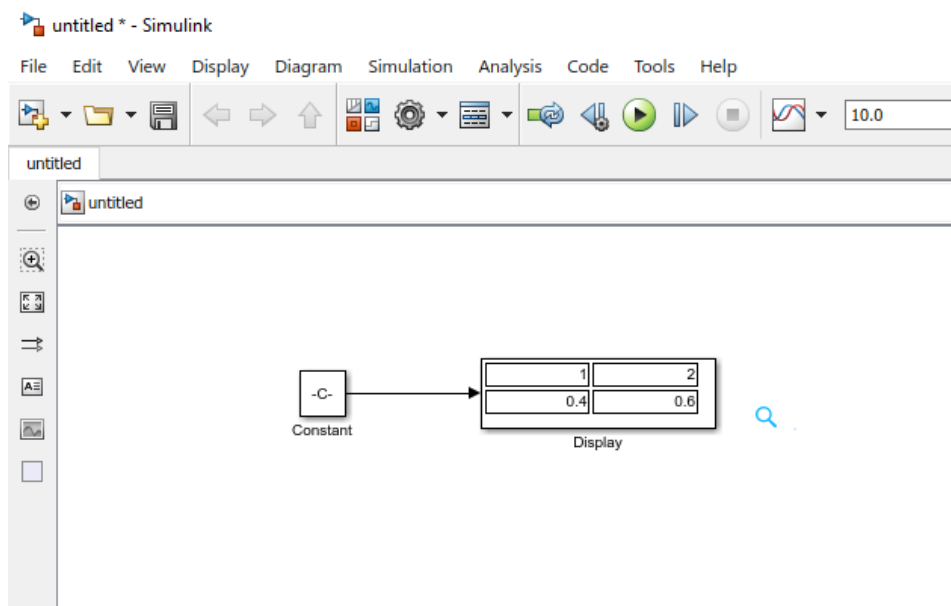


Рис. 3.6 Демонстрація виводу даних змінної на екран в Simulink

### 3.3 Використання стандартних засобів Matlab (функцій)

Загальна форма використання функції у Matlab така:  $\langle \text{ім'я результату} \rangle = \langle \text{ім'я функції} \rangle (\langle \text{перелік аргументів або їх значень} \rangle)$ .

У мові Matlab передбачено багато елементарних арифметичних функцій, деякі з них буде наведено нижче.

Тригонометричні й гіперболічні функції:

$\sin(Z)$  – синус числа  $Z$ ;

$\sinh(Z)$  – гіперболічний синус;

Крім елементарних у мові Matlab передбачено цілу низку спеціальних математичних функцій. Правила звернення до них і використання користувач може відшукати в описах цих функцій, що виводяться на екран, якщо набрати команду `help` і вказати в тому ж рядку ім'я функції.

Інші функції:

`log2` – логарифм за основою 2;

`row2` – піднесення 2 до зазначеного степеня;

Нижче розглянемо набір основних функцій, що використовуються в програмній реалізації фільтра Калмана.

Для створення дійсних чи комплекснозначних моделей простору станів або для перетворення динамічних системних моделей у форму моделі простору станів використовується `ss`. Також є можливість використовувати `ss` для створення узагальнених моделей простору станів (`genss`) або невизначених моделей простору станів (`uss` (Robust Control Toolbox)).

`Sys = ss(A,B,C,D)` – створює об'єкт моделі простору станів у безперервному часі такої форми:

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du$$

`xlabel(txt)` – позначає вісь  $x$  поточних осей або автономну візуалізацію. Повторне виконання `xlabel`-команди замінює стару мітку на нову.

`ylabel(txt)` – позначає вісь  $y$  поточних осей або автономну візуалізацію.

`title(titletext)` – додає вказаний заголовок до поточних осей або автономної візуалізації. Повторне виконання `title` команди призводить до того, що нова назва замінить стару назву.

`Legend` – створює легенду з описовими мітками для кожного нанесеного ряду даних. Для міток у легенді використовується текст із `DisplayName` властивостей ряду даних. Якщо `DisplayName` властивість порожня, тоді легенда використовує мітку форми `'dataN'`. Легенда автоматично оновлюється, коли ви додаєте або видаляєте ряди даних з осей. Ця команда створює легенду на поточних осях, яку повертає команда `gca`. Якщо поточні осі порожні, то легенда порожня. Якщо осей не існує, `legend` створює декартові осі.

`legend(label1,...,labelN)` – встановлює підписи легенди. Вказує мітки як список символьних векторів або рядків, наприклад, `legend('Jan','Feb','Mar')`.

`clf` – видаляє всі наслідки поточної фігури, які мають видимі маркери.

`measerr` – функція-показник якості апроксимації сигналу або зображення.

`subplot(m,n,p)` – ділить поточну фігуру на  $m$  сітку  $n$  та створює осі в положенні, визначеному  $p$ . Matlab нумерує позиції підсхеми за рядками. Перший підграф – це перший стовпець першого рядка, другий – другий стовпець першого рядка і так далі. Якщо осі існують у вказаній позиції, тоді ця команда робить осі поточними осями.

Також є можливість написання особистої функції, для цього у лівому верхньому кутку натискаємо клавішу `New` і обираємо там «Function» (Рис. 3.7).

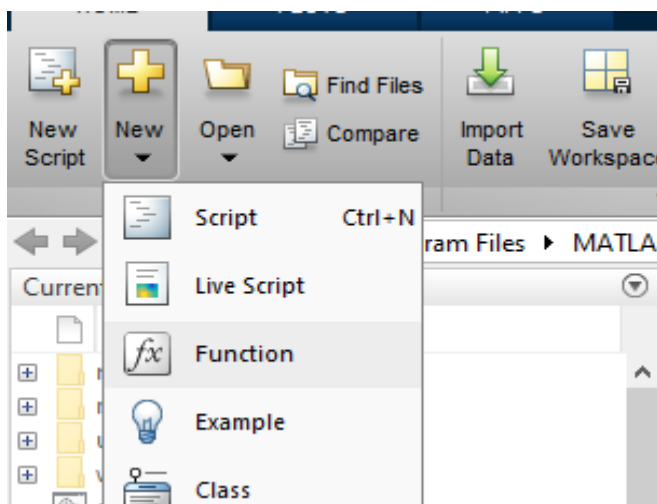


Рис. 3.7 Вивід матриці у командному вікні

В результаті автоматично створюється шаблон функції з ключовим словом `function`. В дужках задаються аргументи даної функції. В тілі функції є можливість писати різні математичні операції. Слово `end` показує де закінчується тіло функції і починається інший код програми (Рис 3.8).

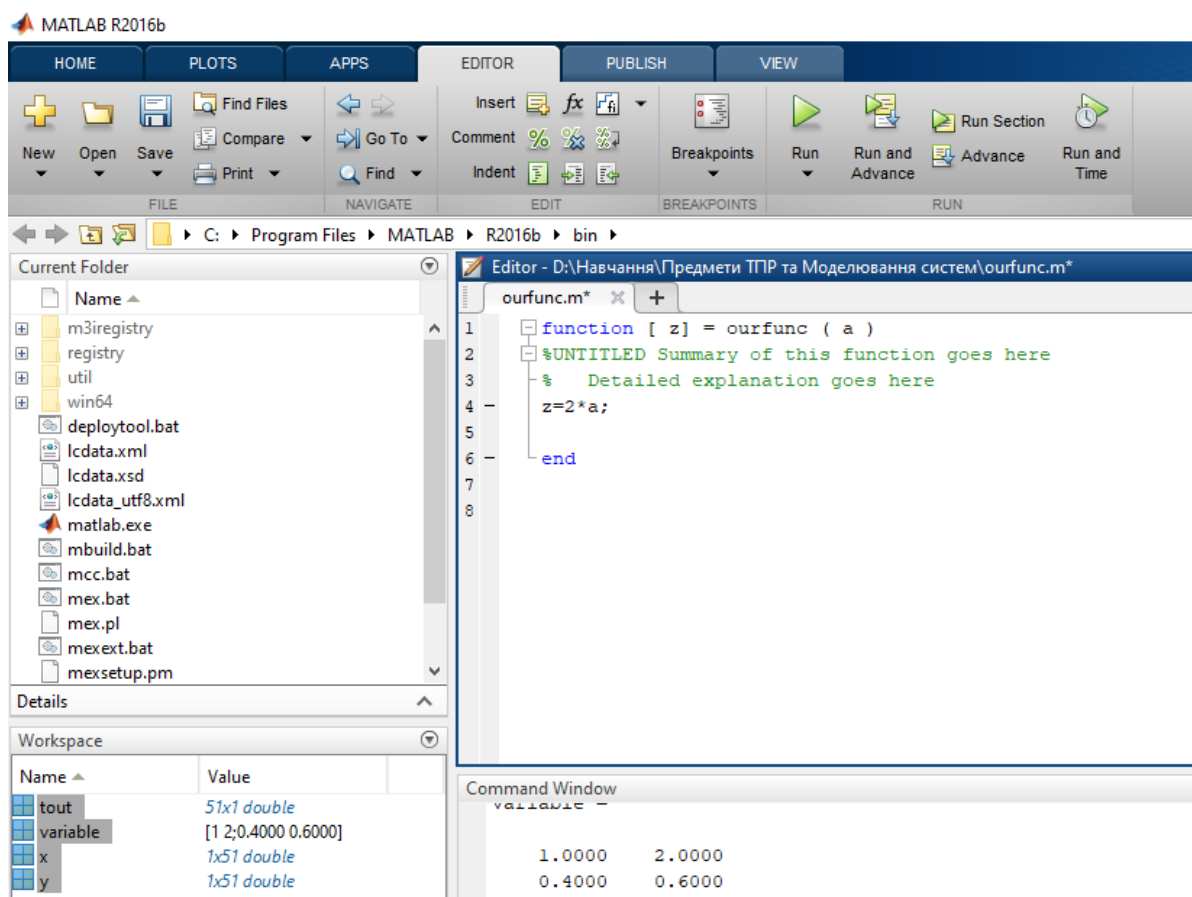


Рис. 3.8 Створення шаблону функції

### 3.4 Графічна частина в Matlab

Виведення графіків у системі Matlab є настільки простою і зручною процедурою, що нею можна користуватися навіть при обчисленнях у режимі калькулятора.

Побудова графіків відбувається за допомогою функції `plot(<Масив>)` для побудови графіку значень з масиву X від номеру відліку (рис. 3.9).

В загальному випадку дана функція має вигляд:

`plot(x,y,s),`

де **x,y** – одномірні масиви однакової розмірності; **x** – масив значень аргументу функції  $y=f(x)$ ; **y** – масив значень функції  $y=f(x)$ ; **s**– строкова константа, що визначає колір лінії, маркер вузлових точок та тип ліній . Ця константа може вміщувати від одного до трьох символів.

Колір лінії визначається символами **y** (жовтий), **m** (фіолетовий), **c** (голубий), **r** (червоний), **g** (зелений), **b** (синій), **w** (білий), **k** (чорний).

Тип вузлової точки визначається символами **.** (точка), **o** (коло), **x** (хрестик), **+** (плюс), **\*** (зірочка), **s** (квадрат), **d** (ромб), **<>** **^** (трикутники різної направленості), **p** (п'ятикутник), **h** (шестикутник).

Тип лінії визначаються символами **-** (неперервна), **:** (короткі штрихи), **-.** (штрих пунктир), **--** (довгі штрихи).

Символьну константу **s** можна не вказувати. В цьому випадку по замовчуванню використовується неперервна лінія жовтого кольору. Для побудови в одному вікні декількох графіків можна використати команду

» `plot(x1,y1,s1,x2,y2,s2,x3,y3,s3,...)`

```
subplot(212), plot(t, yt-y, 'g', t, yt-ye, 'r--'),
xlabel('Number of Samples'), ylabel('Error')
legend('True - measured', 'True - filtered')
>>
```

Рис. 3.9 Демонстрація команди для побудови графіка, що використовується в даній програмній реалізації

Графіки в Matlab завжди виводяться в окреме (графічне) вікно, яку називають фігурою. Наведемо приклад. Задається інтервал на якому буде показано функцію, в даному випадку з 0 до 5, далі задається значення **y**. Після цього застосовується згадана вище функція Matlab `plot`, в якій зазначається **x** та **y**. На екрані автоматично з`явиться додаткове вікно з готовим графіком(Рис. 3.10).

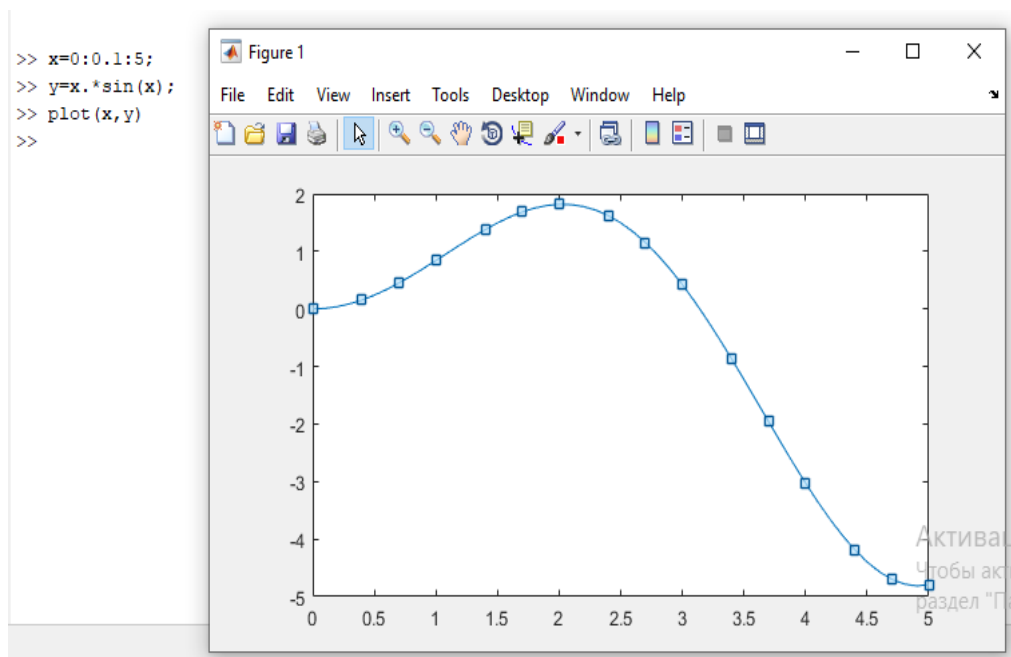


Рис. 3.10 Діалогове вікно графіка

За допомогою натискання на Figure properties є можливість більш детально роздивитися графік та внести в нього корективи за бажанням (3.11).

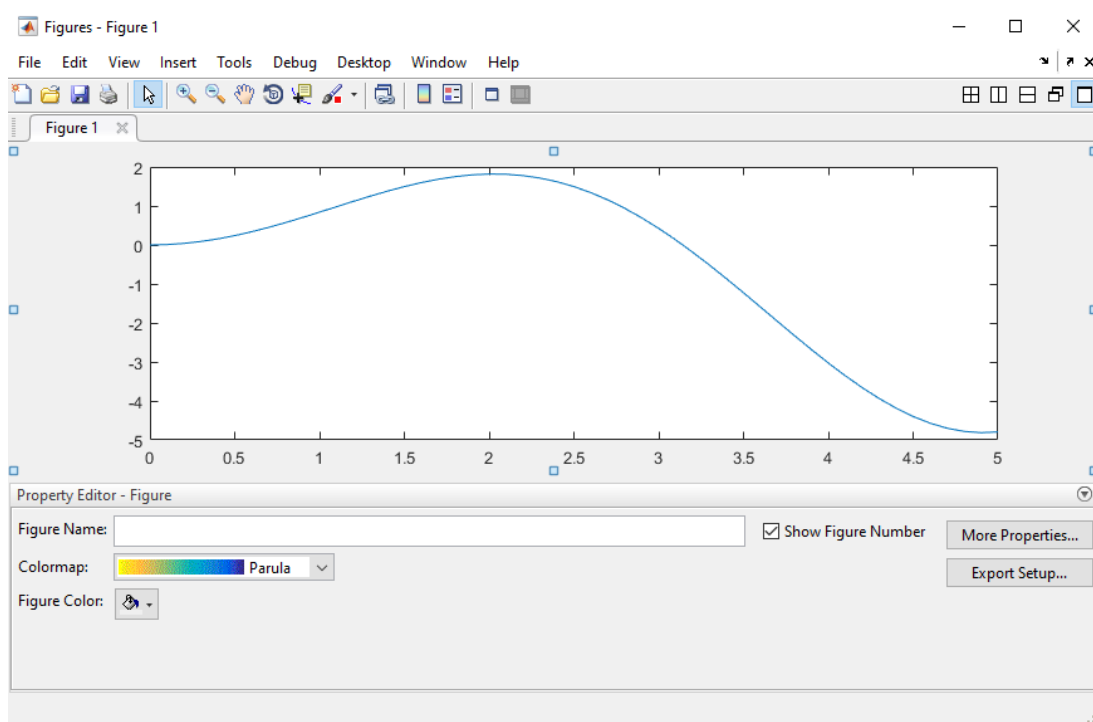


Рис. 3.11 Детальний огляд графіка

Великою зручністю, наданою системою Matlab, є можливість не вказувати аргумент функції при побудові її графіка. У цьому випадку як аргумент система

приймає номер елемента вектора, графік якого будується. Користуючись цим, наприклад, можна побудувати "графік вектора":

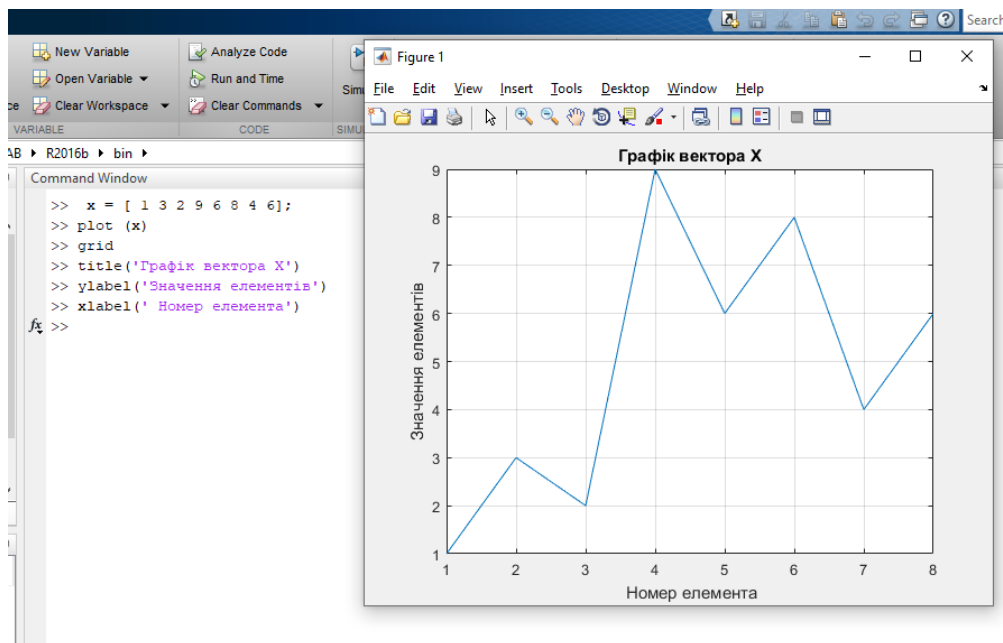


Рис. 3.12 Графік без вказування аргумента функції

Результат поданий на рис. 3.12. Ще більш наочним є подання вектора у виді стовпцевої діаграми за допомогою функції bar (рис. 3.13):

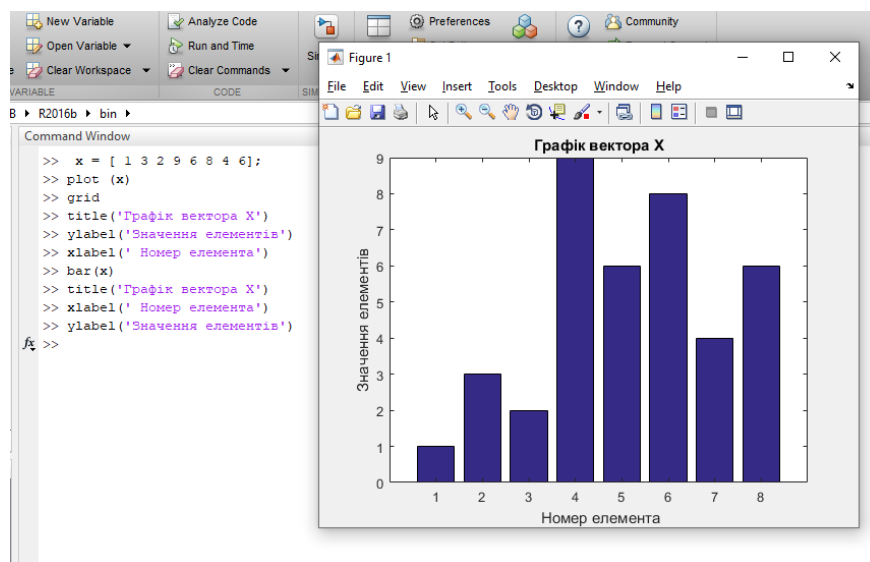


Рис. 3.13 Графік побудований за допомогою функції bar

### 3.5 Моделювання фільтру Калмана в Simulink

Як уже сказано, фільтр Калмана має безліч застосувань. В нашому випадку фільтр Калмана використовується для усунення помилок у вимірі координат відстежуваної мети, для його реалізації можна використати і безпосередньо програмування для виводу графіків на екран, і Simulink, в якому є можливість зробити схему фільтра, також з демонстрацією результату роботи на графіку. Першим буде подано приклад реалізації за допомогою Simulink.

*Блок вхідних дій.* Для моделювання справжньої координати можна використовувати блок Repeating Sequence. Для внесення помилки виміру використовуємо генератор білого шуму (white noise generator).

*Блоки вимірів.* Використовуємо звичайні блоки Scope для побудови графіків вхідних та вихідних сигналів та відстеження роботи фільтра. Розставляємо їх на власний розсуд (рис. 3.14).

*Задаємо справжні координати.* Блок Repeating Sequence зручний для завдання істинної координати цілі. Він дозволяє задати траєкторію у вигляді точок  $(t, x)$ , де  $t$  - момент часу,  $x$  - координата мети в цей момент. Значення  $t$  записуються в Time values, значення  $x$  – Output values. Можна використовувати інші блоки. Схема блоків показана на рис. 3.15.

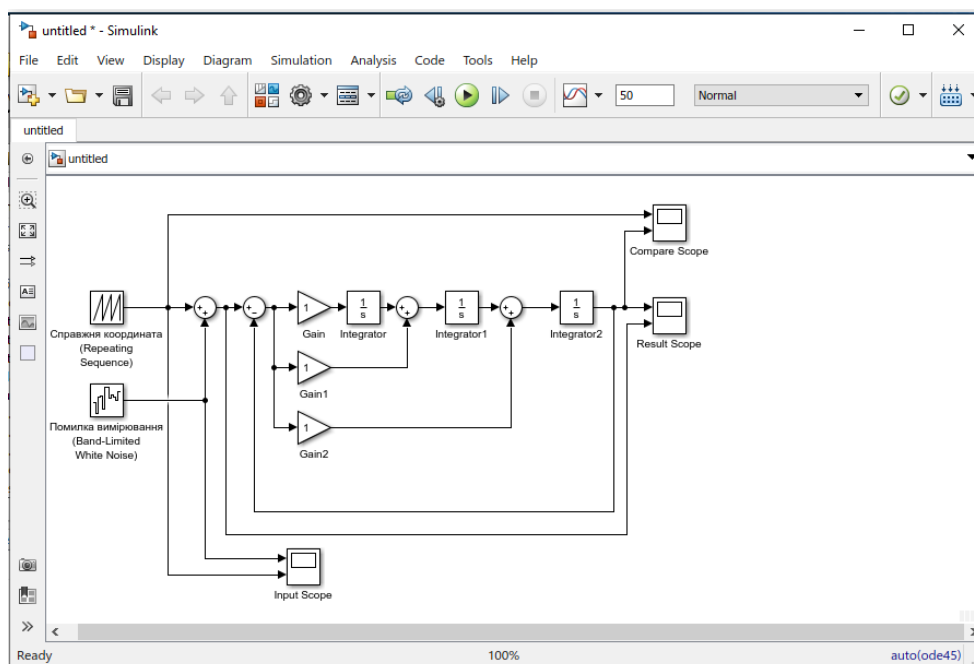


Рисунок 3.14 Схема фільтра Калмана побудована за допомогою Simulink

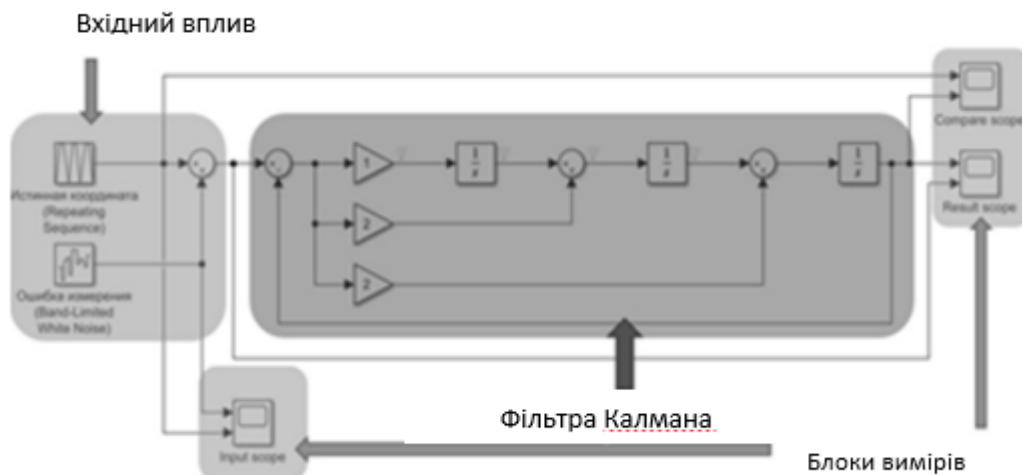


Рис. 3.15 Блок вхідних впливів та блоки вимірювань

Першим результатом роботи фільтра без шуму є графік представлений на рис. 3.16. Задано Stop Time = 50. Ідеальний випадок – відсутність помилок ( Noise Power = 0).

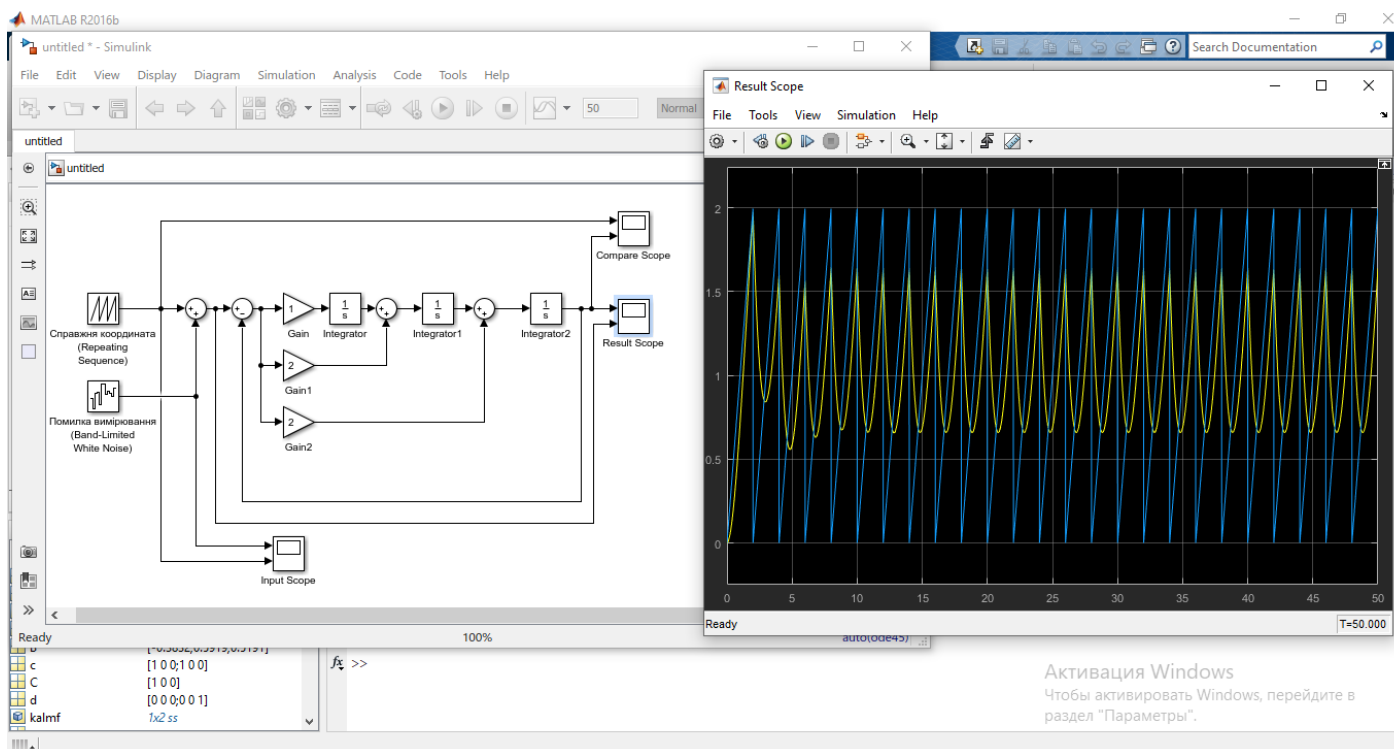


Рисунок 3.16 Схема фільтра разом з результатом графіку при відсутності  
ПОМИЛОК

Другим результатом роботи фільтра з шумом є графік представлений на рис. 3.17. Задано Stop Time = 50. ( Noise Power = 10).

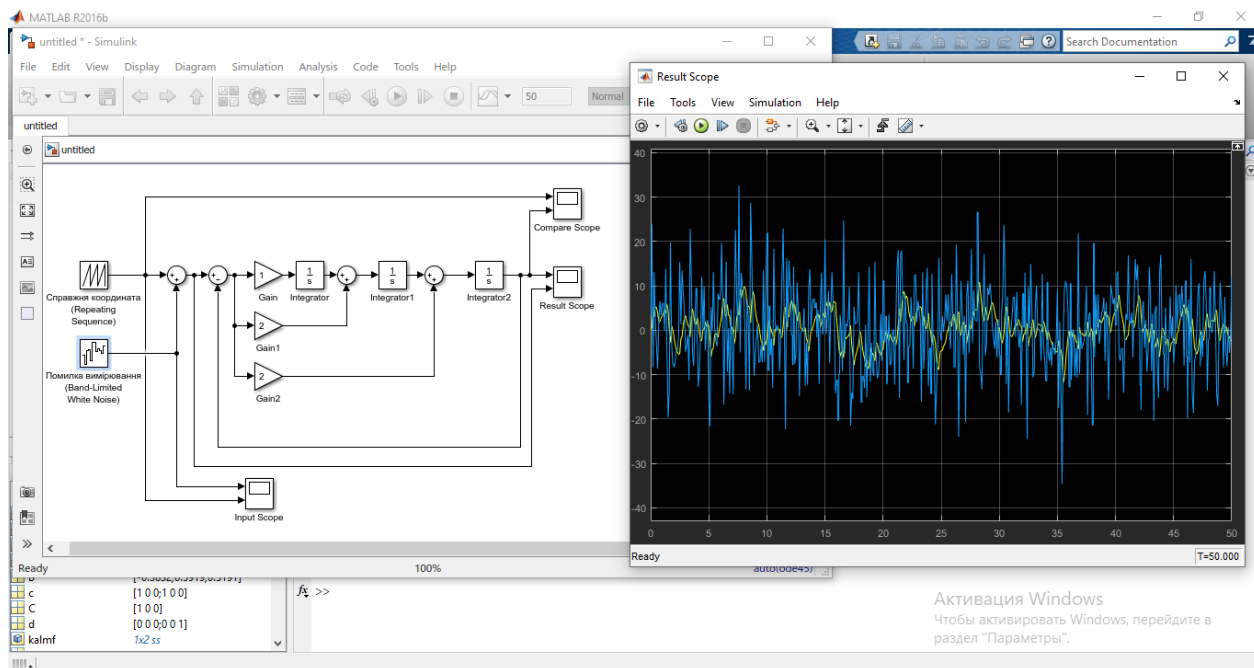


Рисунок 3.17 Схема фільтра разом з результатом графіку невеликих значеннях помилок

### 3.6 Реалізація фільтра Калмана за допомогою програмного коду

Вище було розглянуто фільтр Калмана в Simulink, тепер буде розглянуто програмний код для вирішення даної задачі.

Використовується `kalman`-функція для розробки фільтра Калмана. Ця функція визначає оптимальне підсилення фільтра в стаціонарному режимі, яке позначається буквою  $M$  для конкретної установки на основі коваріації шуму процесу  $Q$  і коваріації шуму датчика  $R$ , значення яких вводяться. Для початку введено значення чотирьох матриць  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ .

Для проектування фільтра, спочатку створюється модель з вхідними даними для  $w$ . Встановлюється час вибірки на  $-1$ , щоб позначити об'єкт як дискретний (без конкретного часу вибірки):  $Ts = -1$ ;

Коваріація шуму процесу  $Q$  та коваріація шуму датчика  $R$  – це значення, що є більшими за  $0$ , зазвичай вони отримуються з досліджень або вимірювань системи. Для даного прикладу задаються такі значення;  $Q = 2,3; R = 1$ ;

Далі використовується функція `kalman` задля розробки фільтра в такому вигляді; `[kalmf,L,~,Mx,Z] = kalman(sys,Q,R)`;

Ця команда розробляє фільтр Калмана, `kalmf`-модель простору станів, яка реалізує рівняння оновлення часу та вимірювання. Вхідними сигналами фільтра є вхід  $u$  об'єкту та вихід шуму об'єкту  $y$ . Першим виходом `kalmf` є оцінка  $\hat{p}$  справжнього результату обладнання, а решта результатів є оцінками стану  $\hat{x}$ .

В даному прикладі відкидаються оцінки стану та зберігається лише перший вихід  $\hat{p}$ .

Повну систему роботи демонструє схема нижче (рис 3.19).

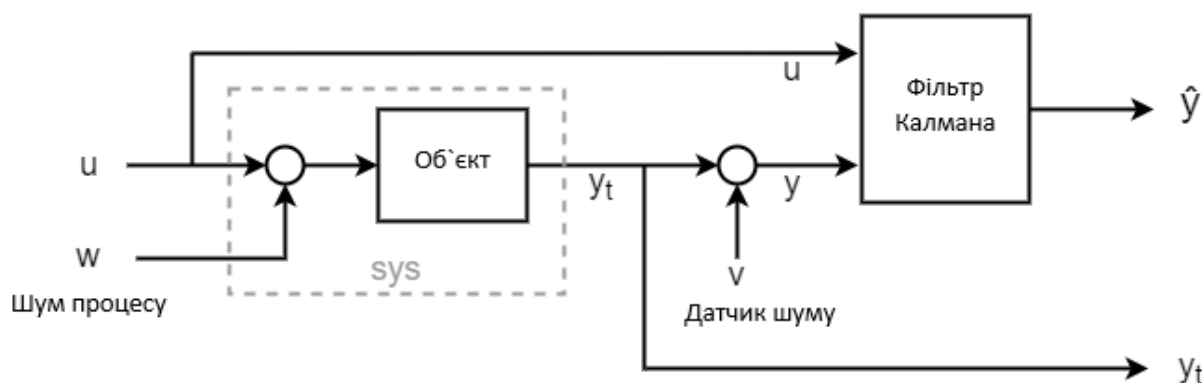


Рисунок 3.19 Схема фільтра

Щоб імітувати цю систему, використовується `sumblk` для створення входу для шуму вимірювання  $v$ . Далі використовується `connect`, щоб об'єднати `sys` фільтр Калмана разом і щоб  $u$  був спільним входом, а шумовий вихід об'єкту  $y$  подавався на інший вхід фільтра. Результатом є імітаційна модель із входами  $w$ ,  $v$ ,  $u$  і виходами  $y_t$  (справжня відповідь) та  $y_e$  (відфільтрована або оцінена відповідь  $\hat{p}$ ). Сигнали  $y_t$  і  $y_e$  є виходами об'єкту і фільтра відповідно.

Щоб зімітувати поведінку фільтра, генерується синусоїдальний вхідний вектор  $t = (0:100)'$ ;  $u = \sin(t/5)$ ;

Створюється вектор шуму процесу та шуму датчика, використовуючи ті самі значення коваріації шуму,  $Q$  як і  $R$  вже використовувалися для розробки.

Нарешті, за допомогою `lsim` моделюється відповідь ось в такому вигляді: `out = lsim(SimModel,[u,w,v]);`.

`Lsim` буде генерувати відповідь на виходах `yt` та `ye` на входи, застосовані на `w`, `v` та `u`. Далі виділяються `yt` канали та `ye` та обчислюється вимірний відгук: `yt = out(:,1);` – істинної відповіді, `ye = out(:,2);` – відфільтрованої відповіді, `y = yt + v;` – вимірної реакції.

Як видно з другого графіку (Рис. 3.20), фільтр Калмана зменшує похибку `yt` – `y` через шум вимірювання. Для підтвердження цього зменшення, обчислюється коваріація помилки до фільтрації (коваріація помилки вимірювання) та після фільтрації (коваріація помилки оцінки).

Детально код приведений у додатку А.

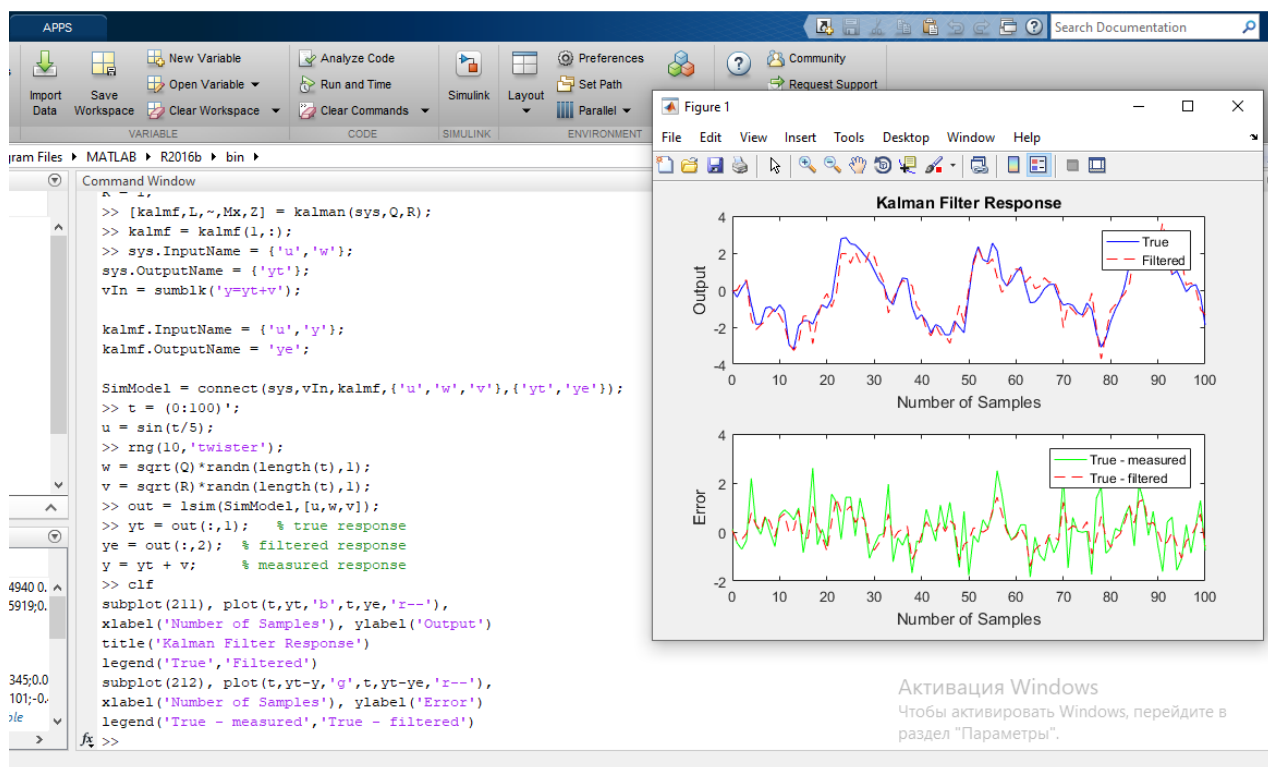


Рис. 3.20 Демонстрація результату коду програми на графіках

## 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ПІДСИСТЕМИ

### 4.1 Введення

Концепція розвитку будівництва повинна привести до спільного знаменника класичну забудову, організовану інфраструктуру, природне оточення і архітектурні рішення. Архітектурна композиція повинна бути чіткою, ясною.

Будівництво поєднує в собі традиційну забудову, але з урахуванням нових тенденцій сучасного містобудування та вимог до якості життя. Це, безсумнівно, задовольняє інтереси сформованого населення і майбутніх мешканців будинків. Бізнес ідея передбачає просту планувальну структуру, оцінку всіх ризиків, фінансовий план, конкуренцію.

Забезпечення людей об'єктами соціальної інфраструктури, культурно-побутовими установами, збереження екологічних норм при будівництві може послужити до відродження якості життя.

Бізнес план складається на основі аналізу всіх основних факторів складання бізнес-плану, враховуючи його доцільність, творчі можливості і техніко-економічну оцінку проектних рішень.

В даний час будівництво є найбільш перспективною та популярною галуззю, враховуючи нові тенденції архітектурно-планувальних рішень та розвитку будівельного ринку та ринку нерухомості.

### 4.2 Оцінка ринку збуту

Будівельний ринок є сьогодні важливою складовою суспільного виробництва і ключовою ланкою у забезпеченні належного рівня якості життя людей і прискорення інноваційного розвитку багатьох сфер матеріального виробництва. Продукцією будівельної галузі є здані в експлуатацію нові основні

засоби виробничого та невиробничого призначення. Крім цього, галузь здійснює їх реконструкцію та технічне переозброєння. Отже, основним завданням будівельної сфери є розширене відтворення та оновлення основних засобів країни. Виконуючи це завдання, галузь реалізує, втілює у життя інвестиції у всіх сферах національної економіки, тому її можна вважати інвестиційною галуззю, що виконує функцію локомотива в економіці країни. Невипадково у статистичних довідниках України дані про галузь розміщені під назвою «Інвестиції та будівельна діяльність». З переходом до ринкових відносин, в будівельній галузі відбулися суттєві зміни щодо організаційних структур, форм і методів маркетинг-менеджменту: децентралізація управління будівельною галуззю і демонополізація її господарської діяльності на основі утвердження різних форм власності; розукрупнення надто великих і створення малих підприємств та організацій; формування інфраструктури інвестиційного ринку, який охоплює мережу регіональних фондів, трудових бірж, постачальницьких компаній матеріально-технічних ресурсів, комерційних банків. Такі трансформаційні процеси та високий рівень біфуркацій у зовнішньому соціально-економічному середовищі зламали усталену інформаційно-аналітичну систему забезпечення прийняття управлінських, зокрема, маркетингових рішень. Тому, нагальною є потреба у зниженні такого рівня інформаційної невизначеності через проведення відповідних маркетингових досліджень, що обумовило мету даної статті – формулювання аналітичного висновку щодо стану та перспектив розвитку будівельної галузі України. [23]

### **4.3 Макроекономічний аналіз будівельного ринку України**

Ринок будівництва відіграє значну роль в економіці України, сприяючи зайнятості, розвитку інфраструктури та економічному зростанню. Ось кілька ключових аспектів, які слід враховувати при аналізі макроекономічного ландшафту будівельного ринку в Україні:

Внесок у ВВП: будівельний сектор робить значний внесок у валовий внутрішній продукт (ВВП) України. Це життєво важливий рушій економічної діяльності, генерування інвестицій і створення робочих місць.

Розвиток інфраструктури: Інфраструктурні проекти, такі як будівництво доріг, розвиток енергетичного сектору, житлових і комерційних будівель, сприяють зростанню та модернізації інфраструктури України. Ці інвестиції спрямовані на покращення транспортних мереж, енергоефективності та розвитку міст.

Ініціативи уряду: політика та ініціативи уряду відіграють вирішальну роль у формуванні будівельного ринку. Програми державних інвестицій, інфраструктурні проекти та регуляторні реформи можуть стимулювати будівельну діяльність і залучати приватні інвестиції.

Ринок нерухомості: будівельний ринок тісно пов'язаний із сектором нерухомості. Такі фактори, як попит на житло, ціни на нерухомість та ставки іпотечних кредитів, можуть впливати на показники будівельної галузі. Зміни в уподобаннях споживачів, демографії та моделях урбанізації також впливають на попит на житлову та комерційну нерухомість.

Загальна кількість будівельних підприємств України сьогодні становить 88,737 тис. одиниць, з них великі та середні – 3,6 тисяч. Стан будівельного ринку та перспективи його розвитку визначаються загальним станом економіки України. Як відомо, економічне зростання країни оцінюється приростом валового внутрішнього продукту (ВВП) і обумовлюється його позитивною динамікою. Після 2002 року у розвитку економіки України можна виділити такі періоди з характерними тенденціями: - 2002-2007 рр. – поступова стабілізація економіки і економічне зростання; - з 2008 р. – до сьогодні – падіння рівня економічного розвитку країни внаслідок світової фінансової кризи і, як наслідок, різке падіння як макроекономічних показників, так і показників будівельної галузі. Основні економічні показники діяльності галузі на тлі економічного розвитку країни загалом за 2002-2013 роки наведені у табл. 1. Як видно з табл. 1, упродовж 2002-2007 рр. щорічно зростав абсолютний та відносний розмір ВВП, створюваний

галуззю «Будівництво»: виняток щодо показника відносного зростання – лише 2002 рік. У 2003, 2004, 2007 роках індекс «будівельної» частки ВВП до попереднього року суттєво випереджає індекс ВВП по економіці загалом (у 2003 р. — відповідно 127,0 % та 109,4 %, тобто на 17,6 пункту; у 2004 р. – відповідно 119,5 % та 112,1 %, тобто на 7,4 пункту, у 2007 році – відповідно 113,2 % та 107,9 %, тобто на 5,3 пункту). Упродовж 2002-2007 років спостерігається безперервне зростання інвестицій по економіці загалом, тобто зростання платоспроможного попиту на продукцію галузі «Будівництво» [23]. Сегментація будівельного ринку приведена на рис. 4.1.

Параметр	Споживчий сегмент	Професійний сегмент
Продукти	Більше уваги дизайнові й асортиментному різноманіттю	Акцент на професійних якостях продукту
Ціни	Більша кількість цінових сегментів	Тендерна практика; знижки; невідповідність заявлених цін фактичним; відсутність прайс-листів
Дистрибуція	Початок розвитку DIY-формату; базарна торгівля	Прямий продаж; перші спроби відкриття спеціалізованих магазинів
Персонал (продаж)	Переважно низький рівень підготовки	Висококваліфіковані продавці так званих "складних" продуктів
Персонал (виконавці)	Переважання індивідуальних виконавців	Ускладнене планування завантаженості працівників за умов сезонності
Канали комунікації	Перші спроби використання стандартних методів просування з метою підвищення рівня обізнаності з торговельною маркою, в тому числі завдяки виходу на дорогі види ЗМІ (зокрема телебачення)	Перевірені канали просування через професійні точки продажу та компетентних посередників

Рис. 4.1 Сегментація будівельного ринку України

#### 4.4 Конкуренція

Конкуренція в будівельній галузі стосується суперництва між компаніями або фірмами, задіяними в будівельному секторі, за забезпечення проектів, клієнтів і частку ринку. Це фундаментальний аспект галузі і може суттєво вплинути на

поведінку, стратегії та результати будівельних фірм. Ось кілька ключових аспектів, які слід враховувати при описі конкуренції в будівельній галузі:

Процес торгів – одним із основних способів спостереження за конкуренцією в будівельній галузі є процес торгів. Будівельні фірми конкурують, подаючи пропозиції або пропозиції для отримання контрактів або проектів. Цей процес зазвичай включає оцінку вимог до проекту, оцінку витрат і пропонування конкурентоспроможних цін для виграшу контракту.

Структура ринку – структура ринку будівельної галузі може впливати на конкуренцію. У деяких регіонах ринок може бути дуже фрагментованим, коли численні малі та середні будівельні фірми змагаються за проекти. В інших випадках більші фірми або підрядники можуть домінувати на ринку, що призводить до іншої конкурентної динаміки.

Диференціація – конкуренція в будівництві часто включає фірми, які відрізняються від своїх конкурентів. Цього можна досягти за допомогою різних факторів, таких як досвід у конкретних типах будівельних проектів (наприклад, житлових, комерційних, інфраструктурних), технічні можливості, якість роботи, репутація, інновації або обслуговування клієнтів.

Ціноутворення та економічна ефективність – ціноутворення є критично важливим конкурентним фактором у будівельній галузі. Будівельні фірми прагнуть пропонувати конкурентоспроможні ціни, зберігаючи прибутковість. Ефективність витрат, ефективне управління проектами та стратегії закупівель можуть дати фірмам конкурентну перевагу в ціноутворенні.

Репутація та стосунки. Створення та підтримання сильної репутації в галузі є життєво важливим для успішної конкуренції. Репутація будується на таких факторах, як вчасне виконання проектів, якість виконання, дотримання стандартів безпеки та задоволеність клієнтів. Налагоджені стосунки з клієнтами, архітекторами, інженерами та субпідрядниками також можуть зіграти важливу роль у виграші проектів через рефералів і повторний бізнес.

Технології та інновації – використання технологій та інновацій може забезпечити конкурентну перевагу в будівельній галузі. Компанії, які

використовують передові методи будівництва, використовують цифрові інструменти для управління проектами, використовують інформаційне моделювання будівель (BIM) або впроваджують стійкі та енергоефективні методи, можуть мати конкурентну перевагу.

Регуляторне середовище. Регуляторне середовище може впливати на конкуренцію, встановлюючи стандарти, ліцензійні вимоги та правила відповідності. Ці фактори можуть впливати на входові бар'єри для нових фірм і формувати конкурентний ландшафт.

Економічні умови: економічні фактори, такі як загальний рівень будівельної діяльності, інвестиції в інфраструктуру та економічне зростання, можуть впливати на конкуренцію в будівельній галузі. Під час економічного спаду конкуренція може загостритися, оскільки фірми змагаються за обмежену кількість проектів.

Важливо зазначити, що конкуренція в будівельній галузі може відрізнятися залежно від регіону та сектора. Динаміка місцевого ринку, урядова політика та конкретні вимоги до проекту можуть сформувати конкурентний ландшафт. Розуміння конкурентного середовища має вирішальне значення для будівельних фірм для розробки ефективних стратегій, диференціації та захисту проектів у висококонкурентній галузі. [24]

#### **4.5 Стратегія маркетингу**

Будь-яка галузь, започатковуючи використання маркетингових підходів, неодмінно зважає на специфіку та час своєї діяльності. Першими до маркетингових принципів ведення бізнесу прийшли виробники високо конкурентних ринків – FMCG, телекомунікацій та фармацевтики. Кожна із цих галузей сформувала власні підходи для досягнення успіху маркетингових заходів, а також інфраструктуру, до якої належать: висококласні спеціалісти, брендингові та рекламні агенції, що покликані виводити й підтримувати бренди, промо-компанії, які популяризують BTL-проекти, спеціалізовані дослідницькі агенції,

що на моніторинговій та ad-hoc основі досліджують ринки тощо. Будівельний ринок дещо запізнився у своєму розвитку в маркетинговому плані, й це має об'єктивне підґрунтя у таких чинниках:

- невисокий рівень конкуренції на більшості сегментів;
- перевищення попиту над пропозицією;
- недостатня кількість кадрів (зокрема кваліфікованих) для виконання зрослих обсягів робіт;
- відносно непрозоре походження капіталу та, відповідно, недостатній рівень маркетингової підготовки топ-менеджерів і власників підприємств;
- висока зарегульованість деяких сегментів галузі;
- погане законодавче забезпечення (наприклад, у секторі житлового будівництва). Проте і цей маркетингово непопулярний ринок набирає обертів. З'явилися перші ознаки якісного зростання ринку:

- поява відомих світових компаній, що прийшли в Україну через купівлю виробничих потужностей та джерел природних ресурсів (CRH, Dyckerhoff, Heidelberg, Knauf, Lafarge, тощо);
- розуміння перспективності й прибутковості вкладення коштів у роздріб фактично незаповнених нішах будівельної індустрії (забудовники формату DIY (Metro, Епіцентр, Нова лінія);
- бажання заробити на потужних готельних і складських комплексів та ін. Кожен ринок має свої проблеми, пов'язані з його обчисленням, і не можна назвати хоча б одного абсолютно прозорого ринку, в якому для розрахунків була би повна інформація.

Кожен ринок має свої проблеми, пов'язані з його обчисленням, і не можна назвати хоча б одного абсолютно прозорого ринку, в якому для розрахунків була би повна інформація. Найголовніша проблема будівельного ринку сьогодні – це його стійка непрозорість. Це стосується не лише частки бізнесу, який звітується перед органами державної статистики, недосконалої класифікації будматеріалів та типів об'єктів й одиниць вимірювання, а насамперед недооцінки статистики

нових та реконструйованих будівель. [23] Обсяги ремонтних робіт узагалі не оцінюються на рівні державних органів. Наприклад, синдикативне дослідження, проведене компанією «КПД 100» у 2012 р., виявило, що у середньому недооцінка нового будівництва (торговельні, складські, виробничі приміщення) перебуває на рівні 23% (за показником «кількість об'єктів»).

Будівельний ринок звітується і є доступним до статистичного аналізу за такою класифікацією:

- коди класифікації виробництва будівельних матеріалів
- близько 150 позицій (без урахування будматеріалів металевих походження); - коди класифікації експорту-імпорту будівельних матеріалів
- близько 100 позицій (без урахування будматеріалів металевих походження);
- коди класифікації послуг – близько 50 кодів;
- класифікації операцій із нерухомістю – близько 10.

#### **4.6 Юридичний план**

За загальним правилом, проектування та будівництво об'єктів здійснюється власниками або користувачами земельних ділянок у такому порядку:

- отримання замовником або проектувальником вихідних даних;
- розроблення проектної документації та проведення у випадках, передбачених статтею 31 Закону України Про регулювання містобудівної діяльності», її експертизи;
- затвердження проектної документації;
- виконання підготовчих та будівельних робіт;
- проведення контрольного геодезичного знімання закінчених будівництвом об'єктів (крім об'єктів, що за класом наслідків (відповідальності) належать до об'єктів з незначними наслідками (СС1) та здійснення їх технічної інвентаризації (крім об'єктів, перелік яких визначається центральним органом

виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері будівництва, архітектури, містобудування);

- прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів;
- реєстрація права власності на об'єкт містобудування.

Юридичний зміст поняття «перепланування» та його визначальні характеристики можемо відслідкувати через призму норм Житлового кодексу Української РСР від 30.06.1983 року №5464-Х (далі - Житловий кодекс) та Правил утримання жилих будинків та прибудинкових територій, затверджених Наказом Державного комітету України з питань житлово-комунального господарства від 17.05.2005 року № 76.

Так, у статті 100 Житлового кодексу визначено, що виконання наймачем робіт з переобладнання та перепланування жилого будинку і жилого приміщення, які не передбачають втручання в несучі конструкції та/або інженерні системи загального користування, не потребують отримання документів, що дають право на їх виконання. Після завершення зазначених робіт введення об'єкта в експлуатацію не потребується. Ця норма кореспондує із приписами статті 152 Кодексу в частині виконання власниками робіт із переобладнання та перепланування жилого будинку і жилого приміщення приватного житлового фонду.

Виконання робіт, визначених частиною першою статті 100 Житлового кодексу, внаслідок яких змінюється площа, кількість чи склад приміщень у будинках державного чи громадського житлового фонду, допускається за письмовою згодою наймодавця (орендодавця), якщо інше не передбачено договором найму (оренди).

У відповідності до п.1.4.5 Правил утримання жилих та прибудинкових територій, для отримання дозволу на переобладнання або перепланування жилих будинків, жилих і нежилих у жилих будинках приміщень їх власник або уповноважена ним особа, наймач (орендар) приміщення за згодою його власника подають до органу місцевого самоврядування заяву про надання дозволу на

переобладнання або перепланування та, у разі необхідності, можуть подаватися такі документи:

- копія свідоцтва на право власності або договору найму (оренди) приміщення;
- копія поповерхових планів, завірених в установленому порядку;
- проект переобладнання або перепланування жилих будинків, жилих і нежилих у жилих будинках приміщень, погоджений в установленому порядку;
- згода власників, співвласників (наймачів) або уповноважених ними осіб на переобладнання та перепланування приміщень, що перебувають у їх спільній власності.

Заява направляється до відповідного органу архітектури та містобудування при органі місцевого самоврядування. І вже після отримання рішення від органу місцевого самоврядування про надання дозволу на перепланування/переобладнання замовник може розпочинати здійснення повного спектру будівельних робіт із перепланування згідно із проектом.

Таким чином, під переплануванням розуміємо вид робіт, які виконуються шляхом перенесення, розбирання і влаштування перегородок, перенесення і влаштування дверних прорізів без втручання в несучі конструкції та зі збереженням зовнішніх геометричних розмірів, а саме:

- демонтаж або влаштування вбудованих шаф, антресолей і комор у допоміжних приміщеннях;
- влаштування чи закриття дверних прорізів у внутрішніх некапітальних стінах між двома житловими кімнатами, житловою кімнатою та коридором, житловою кімнатою та кухнею, кухнею та коридором;
- влаштування перегородок в підсобних приміщеннях з легких матеріалів;
- збільшення площі допоміжних (нежитлових) приміщень за рахунок коридору;
- зменшення площ за рахунок утеплення, оздоблення стін;

- об'єднання приміщень шляхом демонтажу перегородок і ненесучих стін;
- застосування балконів і лоджій;
- об'єднання ванної кімнати і туалету в один санвузол без втручання в загальнобудинкову вентиляційну шахту;
- збільшення житлової площі за рахунок зменшення нежитлових приміщень.

#### **4.7 Оцінка ризику і страхування**

Для сучасного будівельного процесу характерне застосування нових матеріалів, впровадження складної техніки. Як наслідок - суттєво зростає ризик аварій, виходу з ладу машин і механізмів, що збільшує ймовірність істотного матеріального збитку для підрядної будівельної організації і зниження її конкурентоспроможності. Можливі збитки і втрати в ході реалізації проекту будівництва, наприклад, об'єкта транспортної інфраструктури, можуть вимірюватись сотнями мільйонів гривень. Одним з інструментів ефективного управління ризиками і компенсації можливих фінансових втрат є страхування будівельних ризиків, що лише починає розвиватись в нашій країні в останнє десятиліття. 2007 року Ліга страхових організацій України (ЛСОУ) разом з Українською будівельною асоціацією (УБА) створила робочу групу, яка була повинна готувати зміни в законодавчих актах щодо страхового інвестування в нерухомість. Результатом співпраці групи з владою стали оприлюднені 2008 року «Рекомендації зі страхування ризиків у будівництві». Якщо для іноземних компаній страхування інженерних та, як різновид, будівельних ризиків – норма життя, в наших реаліях це – прерогатива окремих великих будівельних корпорацій, що залучають, часто-густо, і іноземні інвестиції. Середній та малий бізнес ще взагалі не «доріс» до цивілізованих відносин в страховому полі, в тому числі і завдяки законодавчим недолікам. Питання страхування будівельних

ризиків з кожним днем набуває все більшої актуальності. У світовій практиці будівельні ризики є різновидом інженерних, або технічних, ризиків.

Будівництво – досить специфічна галузь, адже на будівельному майданчику має місце велика кількість специфічних ризиків, характерних для певного будівельного об'єкту, які повністю перерахувати практично неможливо. Через неадекватні технології страхування і формулювання страхового договору, нерідко виникають проблеми при врегулюванні збитків (рис.4.2).

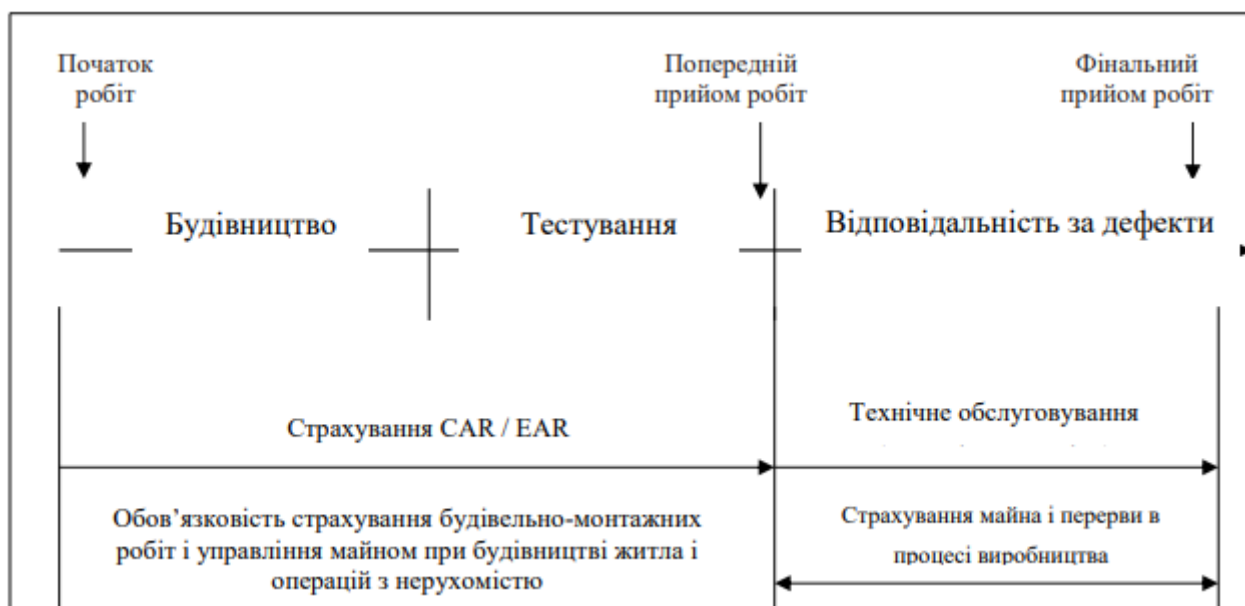


Рис. 4.2 Страхування етапів будівельних робіт

Сьогодні страхування будівельно-монтажних ризиків в нашій країні під силу лише великим професійним страховальникам, які мають договори перестраховання з іноземними перестраховальниками – членами ІМІА, кваліфікованих фахівців з процесу аналізу будівельномонтажних ризиків та дійсні активи і технічні резерви з власного утримання ризиків. Зараз цим вимогам відповідають лише лічені компанії. Більшість компаній страхують будівельні ризики по правилах страхування від пошкодження вогнем. Проте це не значить, що у страхування будівельних ризиків в Україні нема майбутнього. По-перше, за даними учасників ринку, хоча і дуже поступово, але частка таких полісів у загальному обсязі страхування збільшується. По-друге, робляться кроки щодо впорядкування законодавчо-нормативної бази. По-третє, зростає культура

страхування самих забудовників та їх зацікавленість у якісному страхуванні будівельних ризиків. [26]

#### 4.8 Фінансовий план

Однією з найбільш важливих проблем, яка виникає в процесі здійснення інвестиційної діяльності, є пошук ефективних джерел і ресурсів фінансування інвестицій. Джерелами для здійснення інвестицій можуть бути як власні, так і різного роду залучені кошти. Закон України „Про інвестиційну діяльність” визначає такі джерела фінансування інвестицій:

- власні фінансові ресурси інвестора (прибуток, амортизація, відшкодування збитків від аварій, стихійного лиха, грошові нагромадження і заощадження громадян, юридичних осіб тощо);
- позичкові фінансові кошти інвестора (облігаційні позики, банківські та бюджетні кредити);
- залучені фінансові кошти інвестора (кошти, одержані від продажу акцій, пайові та інші внески громадян і юридичних осіб); 9 бюджетні інвестиційні асигнування;
- безплатні та добровільні внески, пожертвування організацій, підприємств і громадян.

Всі джерела фінансування можна в основному поділити на 3 групи:

а) централізовані джерела (кошти державного бюджету, бюджетні позички та позабюджетні фонди);

б) внутрішні джерела (кошти державних підприємств та приватних підприємств, що спрямовуються на інвестиції).

Сьогодні все більшого значення набуває третя група – зовнішні джерела фінансування (іноземні позики Уряду, іноземні кредитні лінії з державним посередництвом, іноземні комерційні кредити та кредити з комерційним посередництвом і прямі іноземні інвестиції). Величина кожного з цих джерел

визначаються рівнем розвитку споживчого і грошового ринків, зайнятістю, бюджетною політикою і в цілому характером ринкової кон'юнктури [27]. Даний процес представлений у вигляді схеми (рис. 4.3).



Рис. 4.3 Схема процесу фінансового планування для будівельного підприємства.

## ВИСНОВОК

У результаті виконання дипломної роботи було проведено аналіз методологічних основ застосування адаптивних методів управління процесом виконання будівельних робіт та розроблено програмний продукт для адаптивного управління будівництвом на основі адаптивного фільтру Калмана.

Розглянуто актуальність проблеми управління будівельними процесами, проаналізовано сучасний стан задач реалізації будівельних проектів. Також проведено аналіз проблем та особливостей управління будівельними процесами, наведено дерево проблем. Досліджено ефективність системи управління будівництвом, життєвий цикл процесу виконання будівництва.

Розглянулися методи і моделі управління виконанням будівельних робіт. Проаналізовано фактори темпу та методи визначення темпу виконання будівельних процесів.

Було розглянуто побудову схему роботи фільтра Калмана за допомогою спеціального середовища під назвою Simulink, а також за допомогою програмування у середовищі Matlab.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цюцюра С. В. «Методичні вказівки до виконання дипломної роботи» – // КНУБА – 2018 р.
2. Аналіз та реалізація проектів : навч. посібник [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2022. 350 с.
3. Elbeltagi, E. BIM-Based Cost Estimation/ Monitoring For Building Construction / E.Elbeltagi, O.Hosny, M. Dawood and others // Int. Journal of Engineering Research and Applications. - 2014.- Vol. 4, Issue 7 (Version 4).-Pp.56-66
4. Lapidus, A.A., Systemic integrated approach to evaluating the resource potential of a construction company as a bidder / A.A.Lapidus, I.L Abramov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd World Multidisciplinary Civil Engineering, Architecture, Urban Planning Symposium (WMCAUS 2018). - 2019.
5. Барабаш М.С. Технологія автоматизованого проектування з використанням цифрової моделі об'єкту / М.С. Барабаш, О.С. Городецький // Зб. Науковий вісник будівництва. – вип. 20. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2002. – С. 179-186.
6. Бубенко О.П. Інноваційні складові підвищення ефективності будівельних підприємств / О.П. Бубенко // БізнесІнформ. – 2012. – №12. – С. 156-161.
7. П.Є. Григоровський, к.т.н; Л.О. Косолап; Н.П. Чуканова, НДІБВ, м. Київ, Вплив моніторингу технічного стану на життєвий цикл будівель.
8. Мережевий метод планування [Електронний ресурс] // – Режим доступу до ресурсу:  
[https://stud.com.ua/23749/menedzhment/merezheviy\\_metod\\_planuvannya](https://stud.com.ua/23749/menedzhment/merezheviy_metod_planuvannya)
9. Діаграми, графіки та схеми як інструментарій представлення проектної інформації. – Олександр Радкевич – 2021.
10. Fieldman, R.F. Some Thoughts on C/SCSC and Current State of Project Management Tools / R.F. Fieldman // PM Network. 1993. - N 10. - P. 6 - 8.

11. *Wallace Clark, Henry Gantt. The Gantt chart, a working tool of management.* – New York: Ronald Press, 1922.
12. Jensen K. *Coloured Petri Nets. Vol. 2.* – Berlin a.o.: Springer, 1995.
13. Пальченко Л.О. *Технологія і організація ремонтнобудівельних робіт / Л.О. Пальченко та ін.* – Х.: Основа, 1992.
14. *Чисельні методи: конспект лекцій / О.В. Горда.* – К.: КНУБА, 2009. – 76 с.
15. Уїдроу Б. *Адаптивна обробка сигналів / Б. Уїдроу, С. Сеїрнз; [Пер. з англ.].* - М.: Радіо та зв'язок, 1989. - 440 с.
16. Grewal M. *Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB / M.Grewal, A.Andrews.* — NY: John Wilay & Sons, 2001. – 401 p.
17. Никифороук М.С, *Адаптивна фільтрація. Фільтр Калмана.*
18. [KalmanFilter.NET \[Електронний ресурс\]](https://www.kalmanfilter.net/default.aspx) .– *Режим доступу:* <https://www.kalmanfilter.net/default.aspx>
19. Пояснення фільтра Калмана в зображеннях [Електронний ресурс] // Хабр – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/ru/articles/594249/>
20. Лазарєв Юрій Федорович. *Початки програмування в середовищі MatLAB: Навчальний посібник.* - К.: НТУУ "КПІ", 2003. – 424 с.
21. *Довідник з MATLAB Ю. Ф. Лазарєв НТУУ "КПІ", 2013.* – 132 с.
22. Білега О. В. *Базові засади стратегічного аналізу підприємств будівельної галузі / О. В. Білега // Аграрний вісник Причорномор'я.* – 2010. – № 53. – С. 32–38.
23. *Стан та перспективи розвитку будівельного ринку України.* Д. Овчаренко., 2015р.
24. *Загрози конкуренції будівельних підприємств України (2020-2021 рр.)* Студінська Г. Я. 2022р.
25. *Організація будівельного виробництва: навчальний посібник / А. М. Дорош.* – К.: Аграрна освіта, 2011. – 255 с.
26. Т. В. Сердюк, М.О.Малик., *Ризики в будівництві та особливості їх страхування (2013 р.).*

27. Беспала-Павлова Т. В., Система фінансового планування будівельних підприємств.

28. Карлова О.А. Особливості та потенційні можливості розвитку житлового будівництва в регіонах України /О.А. Карлова // Економіка будівництва і міського господарства. – 2013. – Т. 9. – № 4. – С. 329–334.

29. Тройнікова О. М. Економіко-фінансова діяльність будівельних організацій: Навчальний посібник. – К. : Центр учбової літератури, 2008. – 160 с. – ISBN 978-966-364-662-6.

**Додаток А (лістинг коду)**

## **Додаток Б (презентація)**

**Додаток В (результат перевірки на плагіат)**