

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ІВАНА ПУЛЮЯ**

**І.Р. Козбур, Г.В. Козбур, Р.І. Михайлишин**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання лабораторної роботи по дисципліні  
«КОМП'ЮТЕРНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ  
СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ»**

**«Моделювання систем керування в пакеті**

**MATLAB SIMULINK»**

**для студентів 4 курсу спеціальності**

**6.050201 «Системна інженерія»**

**Тернопіль 2019**



**Навчально-методична**

**література**



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМ. ІВАНА ПУЛЮЯ**

**Кафедра  
Автоматизації технологічних  
процесів і виробництв**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання лабораторної роботи по дисципліні  
«КОМП'ЮТЕРНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ»  
«Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK»**

для студентів 4 курсу спеціальності  
6.050201 «Системна інженерія»

**Тернопіль - ТНТУ – 2019**

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK», по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Михайлишин Р.І., – Тернопіль: ТНТУ, каф. АВ, 2019. - с. 23

Укладачі: ст. викл. каф. АВ Козбур І.Р., ст. викл. каф. КН Козбур Г.В., ст. викл. каф. АВ, к.т.н. Михайлишин Р.І.

Рекомендовано кафедрою «Автоматизації технологічних процесів і виробництв», протокол № 10 від «5» лютого 2019 р.

Рекомендовано науково-методичною радою ФПТ, протокол № 6 від «26» березня 2019 р.

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	4
Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK .....	5
Мета роботи .....	5
Завдання роботи .....	5
Моделювання систем керування в пакеті SIMULINK (короткі теоретичні відомості) .....	5
Створення моделей в SIMULINK .....	5
Основні джерела сигналів (Sources) .....	6
Основні пристрої виводу (Sinks) .....	7
Лінійні системи (Continuous) .....	7
Інші часто використовувані блоки .....	7
Блок Scope .....	8
Оформлення графіків .....	8
Компенсація постійних збурювань .....	10
Оформлення звіту .....	11
Опис системи .....	11
Інструкція з виконання роботи .....	12
Таблиця коефіцієнтів (варіанти завдань) .....	17
Контрольні питання до захисту .....	18
Приклад виконання й звіту по лабораторній роботі – Моделювання систем керування в пакеті SIMULINK .....	19
Опис системи .....	19
Дослідження системи із ПД-Регулятором .....	19
Дослідження системи з ПД-Регулятором .....	20

## Лабораторна робота

### Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK

#### Мета роботи

- освоєння методів моделювання лінійних систем у пакеті SIMULINK

#### Завдання роботи

- навчитися будувати й редагувати моделі систем керування в пакеті SIMULINK
- навчитися змінювати параметри блоків
- навчитися будувати перехідні процеси
- навчитися оформляти результати моделювання
- вивчити метод компенсації постійних збурювань за допомогою ПД-Регулятора

### Моделювання систем керування в пакеті SIMULINK

#### (короткі теоретичні відомості)

#### Створення моделей в SIMULINK

Пакет SIMULINK призначений для моделювання систем. Уся модель будується із блоків, що мають входи й виходи. Існує бібліотека стандартних блоків, крім того, можна створювати свої власні блоки будь-якої складності. Існує дві групи спеціальних пристроїв – джерела сигналів (**Sources**) і пристрою виводу (**Sinks**).

Блоки мають назви. Для того, щоб змінити назву, потрібно клацнути по ньому ЛКМ і відредагувати текст<sup>1</sup>.

Кожний блок має свої властивості, що настроюються. Для їхньої зміни потрібно двічі клацнути на блоці й змінити потрібні значення в діалоговому вікні.

Для того, щоб повернути блок на 90 градусів, потрібно виділити його й натиснути клавіші **Ctrl+R**. Комбінація **Ctrl+I** дозволяє виконати дзеркальне відбиття входів і виходів.

Верхнє меню **Format** призначене для зміни оформлення виділеного блоку. Також для цієї мети можна використовувати контекстне меню ЛКМ – **Format**. Для виділеного блоку можна змінити колір тексту й ліній (**Foreground color**), колір тла (**Background color**), вивести тінь (**Show drop shadow**), перемістити назва на іншу сторону (**Flip name**).

Для виділення одного блоку або сполучної лінії потрібно клацнути ЛКМ по потрібному елементу. Для того, щоб виділити кілька блоків, потрібно «обвести» їх при натиснутій ЛКМ. Клавіша **Delete** видаляє виділену частину. Щоб скопіювати блок (або виділену частину), потрібно перетягнути його при натиснутій *правій* кнопці миші (ПКМ).


Блоки з'єднуються лініями зв'язку, по яких поширюються сигнали. Для того, щоб з'єднати блоки, потрібно клацнути ЛКМ по джерелу сигналу й потім, при натиснутій клавіші **Ctrl**, по блоку-приймачу. Можна також простягнути мишкою лінію зв'язку між потрібними виходом і входом.

---

<sup>1</sup> У деяких версіях MATLAB існує проблема з кириличною буквою «Я», тому рекомендують використовувати англійські назви блоків.










Щоб подати один сигнал на два блоки (зробити «розвилку»), потрібно спочатку створити одну лінію звичайним способом. Щоб провести другу лінію, слід натиснути *праву* кнопку миші на лінії в кінці розвилки й протягти лінію до другого блоку.

Модель можна скопіювати в буфер обміну у вигляді растрового малюнка. Для цього у вікні моделі потрібно вибрати у верхньому меню пункт **Edit – Copy model to clipboard**. Попередньо краще зменшити розміри вікна до мінімальних, щоб не було білих полів.

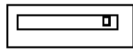
Для того, щоб запустити моделювання, потрібно клацнути ЛКМ по кнопці  на панелі інструментів. Ця ж кнопка дозволяє зупинити моделювання при необхідності.

Параметри моделювання (метод інтегрування, обробка помилок) установлюються за допомогою вікна **Simulation – Parameters**. Найважливіші параметри – це час моделювання (**Stop time**) і метод чисельного інтегрування рівнянь (**Solver options**).

## Основні джерела сигналів (Sources)

-  **Constant** – сигнал постійної величини.
-  **Step** – східчастий сигнал, міняється час стрибка (**Step Time**), початкове (**Initial Value**) і кінцеве значення (**Final Value**).
-  **Ramp** – лінійно зростаючий сигнал із заданим нахилом (**Slope**). Можна задати також час початку зміни сигналу (**Start Time**) і початкове значення (**Initial Value**).
-  **Pulse Generator** – генератор прямокутних імпульсів, задаються амплітуда (**Amplitude**), період (**Period**), ширина (**Pulse Width**, у відсотках від періоду), фаза (**Phase Delay**).
-  **Repeating Sequence** – послідовність імпульсів, їх форма задається у вигляді пар чисел (час; величина сигналу)
-  **Sine Wave** – синусоїдальний сигнал, задається амплітуда (**Amplitude**), частота (**Frequency**), фаза (**Phase**) і середнє значення (**Bias**).
-  **Signal Builder** – побудовник сигналів, що дозволяє задавати форму сигналу, перетаскуючи мишею опорні крапки.
-  **Random Number** – випадкові числа з нормальним (гаусівським) розподілом. Можна задати середнє значення (**Mean Value**), дисперсію (**Variance**), період зміни сигналу (**Sample Time**).
-  **Uniform Random Number** – випадкові числа з рівномірним розподілом у заданому інтервалі від **Minimum** до **Maximum**.
-  **Band Limited White Noise** – випадковий сигнал, обмежений по смузі білий шум, що має рівномірний спектр до деякої частоти. Блок використовується як джерело білого шуму для моделей неперервних систем. Задається інтенсивність (**Noise Power**) і інтервал дискретизації (**Sample Time**), протягом якого втримується постійне значення сигналу. Чим менший інтервал, тем точніше моделювання, однак більші обчислювальні витрати.

## Основні пристрої виводу (Sinks)

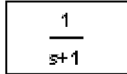


**Display** – цифровий дисплей, показує зміну вхідного сигналу в цифровому виді.

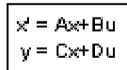


**Scope** – осцилограф, показує зміну сигналу у вигляді графіка, що дозволяє передавати дані в робочу область MATLAB для наступної обробки й оформлення.

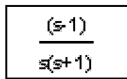
## Лінійні системи (Continuous)



**Transfer Fcn** – передавальна функція, у параметрах задаються чисельник (**Numerator**) і знаменник (**Denominator**) у вигляді поліномів.



**State Space** – модель у просторі станів, у параметрах задається четвірка матриць, що визначають модель, і початкові умови для вектора стану (**Initial conditions**).



**Zero-Pole** – модель у формі «нулі-полюса», у параметрах задаються масиви нулів (**Zeros**), полюсів (**Poles**), а також коефіцієнт підсилення (**Gain**).



**Integrator** – інтегратор з можливістю установки початкових умов (**Initial condition**), а також меж насичення (**Lower saturation limit** і **Upper saturation limit**). Коли сигнал виходу виходить за межі, обумовлені цими межами, інтегрування припиняється.

## Інші часто використовувані блоки

### Math Operations



**Gain** – підсилювач, задається коефіцієнт підсилення (**Gain**).



**Sum** – суматор, використовується для додавання й вирахування входів. Параметр **List of signs** задає кількість входів, їх знаки («+» для додавання й «-» для вирахування). Проміжки між входами (позначаються знаком |).



**Trigonometric Function** – тригонометрична функція.

### Signal Routing



**Manual Switch** – ручний перемикач, дозволяє подвійним клацанням перемикати вихід на один із двох вхідних сигналів.



**Mux** – мультиплексор, поєднує кілька сигналів в один «джгут» (векторний сигнал), у параметрах задається число входів (**Number of Inputs**).





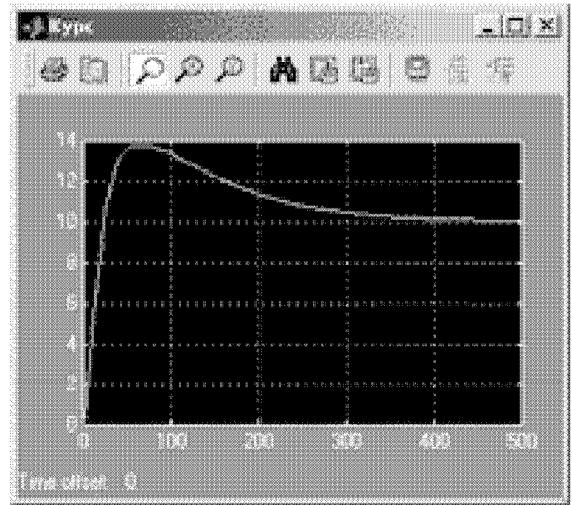
**Demux** – демультимплексор, дозволяє «розбити» векторний сигнал на декілька скалярних, у параметрах задається число виходів (**Number of Outputs**).




## Блок *Scope*

У вікні блоку **Scope** зображується графік зміни вхідного сигналу. Якщо вхід з'єднаний з виходом мультиплектора, відразу будується декілька графіків (по розмірності вхідного «джгута»).

За замовчуванням на осі ординат використовується діапазон від -5 до 5. Якщо цей варіант не підходить, вибрати масштаб автоматично (так, щоб увесь графік був видимий) можна за допомогою кнопки . Сусідня кнопка  зберігає ці налаштування для наступних запусків.



Кнопка  відкриває вікно налаштувань, причому найбільш важливі дані втримуються на вкладці **Data history**. Якщо не скинути прапорець **Limit data points**, у пам'яті буде зберігатися тільки задане число крапок графіка, тобто, при великому часі моделювання початок графіка буде загублено.

Відзначивши на цій же сторінці прапорець **Save data to workspace** можна відразу передати результати моделювання в робочу область MATLAB для того, щоб їх можна було далі обробляти, виводити на графіки й зберігати у файлі. Поле **Variable name** задає ім'я змінної в робочій області, у якій зберігаються дані. У найпростішому випадку вибирається формат **Array** (у списку **Format**). Це означає, що дані будуть зберігатися в масиві з декількох стовпців (перший стовпець – час, другий – перший сигнал, третій – другий сигнал і т.д., один по одному вхідів мультиплектора).

## Оформлення графіків

Для створення нового вікна для малюнка в MATLAB використовується команда

```
>> figure(1);
```

Замість одиниці можна ставити будь-який номер малюнка. Якщо малюнок з таким номером уже є, він стає активним і виводиться на перший план. Якщо такого малюнка немає, він створюється й стає активним.

В MATLAB є можливість будувати декілька графіків на одному малюнку. Інакше кажучи, малюнок можна розбити на «клітки», у кожній з яких будується окремий графік. Для цього потрібно зробити активним потрібний малюнок і застосувати команду

```
>> subplot(2, 1, 1);
```

Перше число в команді **subplot** показує кількість «рядків» у такій матриці, друге – кількість стовпців, третє – який по рахунку графік зробити активним (вважаючи по рядках, праворуч ліворуч і зверху вниз). Усі подальші команди (**plot**, **title**, **xlabel**, **ylabel**, **legend** і ін.) відносяться до цього «підграфіка».

У командах можна передавати в якості аргументів не цілі масиви, а їх частини. Наприклад, по команді

```
>> plot(x(1:20), y(11:30));
```

будується графік, на якому по осі абсцис відкладаються значення елементів масиву **x** з номерами від 1 до 20, а по осі ординат – відповідні їм значення з масиву **y** з номерами від 11 до 30.

Двокрапка означає «усі рядки» або «усі стовпці». Наприклад, по команді

```
>> plot(x(:,1), x(:,2));
```

будується залежність між першим і другим стовпцями масиву **x** (тут двокрапка замість першого індексу позначає «усі рядки»).

За допомогою команди **plot** (а також і інших подібних – **semilogx**, **semilogy**, **loglog**) можна будувати кілька ліній на одному графіку. Для цього серед аргументів перелічуються пари масивів:

```
>> plot(x, y, v, z);
```

Перша лінія буде показувати залежність **y** від **x**, а друга – залежність **z** від **v**. масиви в кожній парі повинні бути однакової довжини. При бажанні можна вказати кольору для кожної лінії, Наприклад,

```
>> plot(x, y, 'b', v, z, 'g');
```

Перша лінія (залежність **y** від **x**) буде синьою, друга (залежність **z** від **v**) – зеленою. Можна використовувати наступні кольори

<b>b</b>	синій ( <b>blue</b> )
<b>g</b>	зелений ( <b>green</b> )
<b>r</b>	червоний ( <b>red</b> )
<b>c</b>	блакитний ( <b>cyan</b> )
<b>m</b>	фіолетовий ( <b>magenta</b> )
<b>y</b>	жовтий ( <b>yellow</b> )
<b>k</b>	чорний ( <b>black</b> )

За замовчуванням перша лінія – синя, друга – зелена і т.д. у порядку перерахування кольорів у списку. Додатково можна вказати тип лінії

-	суцільна
:	крапкова
-.	штрих-пунктирна
--	штрихова

Наприклад,

```
>> plot(x, y, 'b:', v, z, 'g--');
```

Перша лінія – крапкова синього кольору, друга – штрихова зеленого кольору. За замовчуванням усі лінії суцільні.

Для оформлення графіку також використовуються команди:

**title** заголовок графіка  
**xlabel** назва осі абсцис  
**ylabel** назва осі ординат

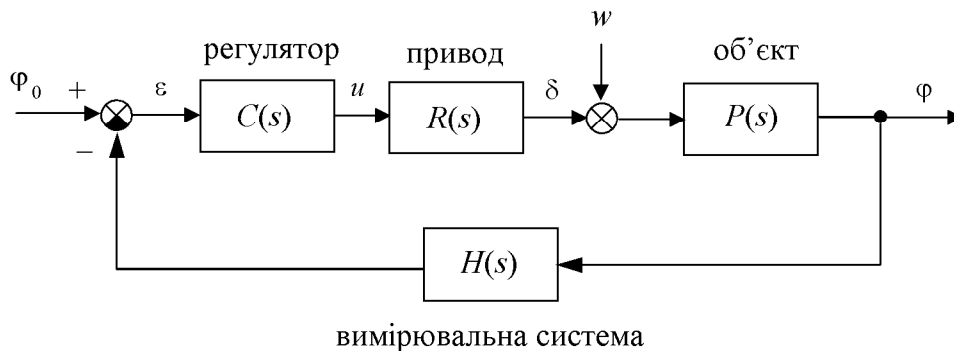
У всіх цих команд обов'язковий один аргумент – текст в апострофах.

Команда `legend` служить для виводу легенди графіка. Легенда потрібна, якщо на графіку є кілька ліній і потрібно показати, що позначає кожна з них. Параметрами команди `legend` є символічні рядки, їх повинне бути стільки, скільки побудоване ліній.

У написах можна використовувати деякі команди системи Тих<sup>2</sup>. Наприклад, грецькі букви записуються у вигляді «`\alpha`», «`\beta`» і т.д. Верхній індекс (ступінь) позначається знаком «`^`», Наприклад,  $a^2$  запишеться як «`a2`». Для позначення індексу використовують нижнє підкреслення, наприклад,  $a_{22}$  кодується як «`a_{22}`».

### Компенсація постійних збурювань

На будь-яке судно в реальних умовах діють *збурюючі сили*, викликані вітром, хвилями і іншими причинами. Деякі з них (наприклад, вплив вітру) містять постійну складову, тобто, їхнє середнє значення не дорівнює нулю. Проте, система керування повинна підтримувати заданий курс судна навіть у таких умовах. Моменти збурюючих сил прикладені безпосередньо до входу об'єкта керування, тобто, структурна схема має такий вигляд:



Придушення збурювань (позначених на схемі через  $w$ ) визначається передавальною функцією системи по збурюванню, тобто, передавальною функцією від входу  $w$  до виходу  $\varphi$ :

$$W_w(s) = \frac{\varphi(s)}{w(s)} = \frac{F(s)}{1 + R(s)C(s)H(s)F(s)}$$

Якщо вона містить нуль у крапці  $s = 0$ , що відповідає АЧХ рівній нулю на нульовій частоті, тобто, постійні збурювання в режимі, що встановився, компенсуються повністю. Для цього потрібно, щоб інтегратор входив у модель приводу у зворотному зв'язку або регулятора. Таким чином, якщо регулятор містить інтегральний канал (I-Канал), у системі немає статичної помилки при постійному збурюванні.

<sup>2</sup> TeX –система підготовки текстів з математичними формулами, розроблена математиком и програмістом Дональдом Кнотом. Найчастіше використовують макропакети (надбудови), котрі розширюють можливості ядра TeX, наприклад LaTeX чи AMSTeX.

## Оформлення звіту

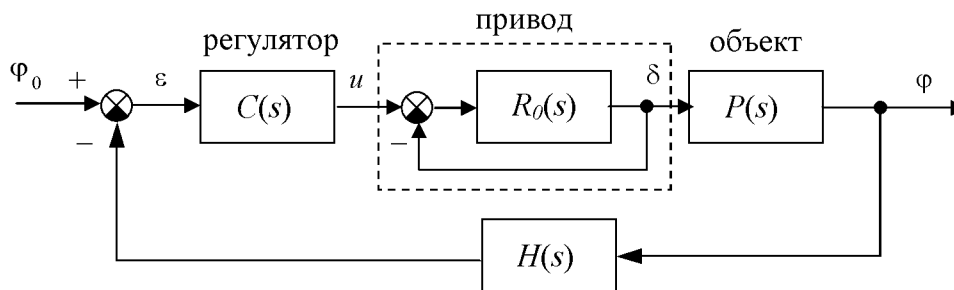
Звіт по лабораторній роботі виконується у вигляді тексту у файлі формату *Microsoft Word* (шрифт основного тексту **Times New Roman**, 12 пунктів, через 1,5 інтервал, вирівнювання по ширині). Він повинен включати:

- назва предмета, номер і назва лабораторної роботи
- прізвище й ініціали авторів, номер групи
- прізвище й ініціали викладача
- номер варіанту
- короткий опис досліджуваної системи
- результати виконання всіх пунктів інструкції, які виділені сірим тлом (див. нижче): результати обчислень, графіки, відповіді на запитання.

При складанні звіту рекомендується копіювати необхідну інформацію через буфер обміну з робочого вікна середовища MATLAB. Для цих даних використовуйте шрифт **Courier New**, у якому ширина всіх символів однакова.

## Опис системи

У роботі розглядається система керування судном за курсом. Її структурна схема показана на малюнку.



Вимірювальна система

Структурна схема системи стабілізації судна на курсі

Лінійна математична модель, що описує нишпорення судна, має вигляд

$$\dot{\varphi} = \omega_y$$

$$\dot{\omega}_y = -\frac{1}{T_s} \omega_y + \frac{K}{T_s} \delta$$

де  $\varphi$  – кут нишпорення (кут відхилення від заданого курсу),  $\omega_y$  – кутова швидкість обертання навколо вертикальної осі,  $\delta$  – кут повороту вертикального керма щодо положення рівноваги,  $T_s$  – постійна часу,  $K$  – постійний коефіцієнт, що має розмірність *радий/сек*. Передавальна функція від кута повороту керма до кута нишпорення запишеться у вигляді

$$P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)}.$$

Привод (кермова машина) приблизно моделюється як інтегруюча ланка, охоплена одиничному негативному зворотним зв'язком, так що його передавальна функція рівна

$$R(s) = \frac{1}{T_R s + 1}.$$

Для виміру кута нишпорення використовується гірокомпас, математична модель якого записується у вигляді аперіодичної ланки першого порядку з передавальною функцією<sup>3</sup>

$$H(s) = \frac{1}{T_{oc}s + 1}$$



Досліджуються перехідні процеси в системі при використанні ПД-Регулятора

$$C(s) = K_c \left( 1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right),$$

і ПІД-Регулятора

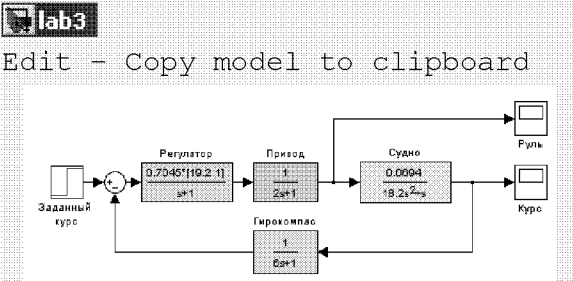








$$C(s) = K_c \left( 1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right) + \frac{1}{T_I s}$$

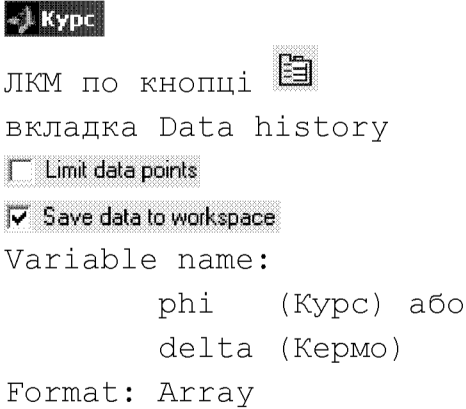

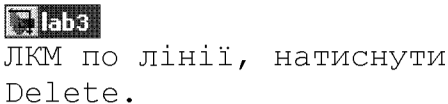
### Інструкція з виконання роботи

Етап виконання завдання	Команди MATLAB
1. Для запуску пакета SIMULINK клацніть по кнопці  в командному вікні MATLAB або введіть команду <code>simulink</code> у командному рядку.	<code>simulink</code>
2. Створіть нову модель за допомогою верхнього меню вікна, що відкрилося, <i>Simulink Library Browser</i> .	 <code>File - New - Model</code>
3. Перетягнете блок <b>Transfer Fcn</b> (передавальна функція) з вікна <i>Simulink Library Browser</i> (група <i>Continuous</i> ) у вікно моделі й уведіть чисельник і знаменник передавальної функції моделі судна.	Подвійне клацання на блоці <ul style="list-style-type: none"> <li>• Numerator [K]</li> <li>• Denominator [Ts 1 0]</li> </ul>
4. Дайте блоку назва <b>Судно</b> .	ЛКМ на імені блоку
5. Аналогічно додайте ще три блоки типу <b>Transfer Fcn</b> , назвіть їхній <b>Привод, Регулятор і Гірокомпас</b> , уведіть потрібні параметри. Помітьте, що передавальна функція привода повинна бути $R(s) = \frac{1}{T_R s + 1}$ з врахуванням внутрішнього зворотного зв'язку.	
6. Збережіть модель у своїй папці під іменем <code>lab3.mdl</code> <sup>4</sup> .	<code>File - Save</code>
7. Виділіть блок <b>Гірокомпас</b> і розгорніть його в іншу сторону.	Натиснути <code>Ctrl+I</code> або двічі натиснути <code>Ctrl+R</code> .
8. Зробіть, щоб назви блоків <b>Судно, Привод і Регулятор</b> були над блоками.	ПКМ на блоці, <code>Format - Flip name</code>
9. Виберіть колір блоків на свій смак.	ПКМ на блоці, <code>Format - Background color</code>



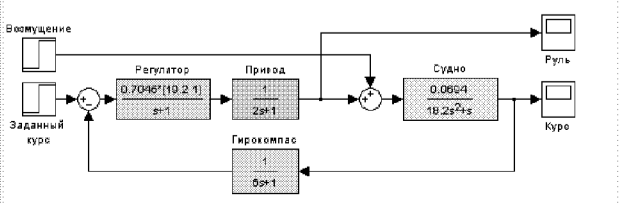



<sup>3</sup> Числові значення  $K$ ,  $T_s$ ,  $T_R$  и  $T_{oc}$  потрібно взяти з таблиці. Вони повинні співпадати з даними, які використовувались у попередній лабораторній роботі.

<sup>4</sup> Всі файли моделей в пакеті SIMULINK мають розширення `.mdl`.

10. Перетягніть у вікно моделі блок <b>Sum</b> із групи <b>Math Operations</b> і встановите його ліворуч від регулятора.	ЛКМ
11. Зробіть так, щоб другий вхід урахувався в сумі зі знаком мінус (негативний зворотний зв'язок).	Подвійне клацання на блоці, увести $\pm$ у поле List of signs
12. Перетягніть у вікно моделі блок <b>Step</b> із групи <b>Sources</b> і встановите його ліворуч від суматора. Дайте йому ім'я <b>Заданий курс</b> .	
13. Установіть час подачі сигналу 0 і величину сигналу 10 (досліджуємо поворот на 10 градусів).	Подвійне клацання на блоці, 0 у поле Step time 10 у поле Final value
14. З'єднаєте всі блоки потрібним способом.	ЛКМ на джерелі, утримувати Ctrl і ЛКМ на приймачі, або протягти ЛКМ від виходу одного блоку до входу іншого
15. Перетягніть у вікно моделі два блоки <b>Scope</b> (осцилограф) із групи <b>Sinks</b> і встановите їх у правій частині. Назвіть їхнє <b>Кермо</b> й <b>Курс</b> .	
16. Зробіть, щоб на перший блок <b>Scope</b> надходив сигнал керування (кут повороту керма, після блоку <b>Привод</b> ), а на другий – сигнал виходу (курс судна). Збережете модель.	Натиснути ПКМ на лінії в кінці відбору сигналу, потім, не відпускаючи ПКМ, тягнути лінію до входу блоку.
17. Зменшіть вікно до мінімального розміру, при якому видні всі елементи, і скопіюйте модель у буфер обміну. Потім вставте її з буфера обміну у звіт.	
18. Установіть час моделювання 100 секунд.	 Simulation - Simulation parameters 100 у поле Stop time
19. Виконайте моделювання.	 ЛКМ по кнопці 
20. Подивитися результати моделювання, відкривши вікна для блоків <b>Курс</b> і <b>Кермо</b> .	 Подвійне клацання по блоку
21. Налаштуйте масштаб по осях у вікнах обох блоків,	 ЛКМ по кнопці  – установити ОПТИМАЛЬНИЙ МАСШТАБ
22. Збережіть налаштування,	 ЛКМ по кнопці 

<p>23. Зробіть так, щоб результати моделювання передавалися з обох блоків <b>Scope</b> у робочу область MATLAB у вигляді матриць, у яких перший стовпець – час, а другий – сигнал (курс або кут повороту керма).</p>	
<p>24. Виконайте моделювання ще раз.</p>	
<p>25. Перейдіть у командне вікно MATLAB і створіть нове вікно для графіка. В одному вікні будуть побудовано дві кривих на різних осях.</p>	<pre>figure(1);</pre>
<p>26. Розбийте вікно на 2 частині по вертикалі й зробіть активним перший графік. Перше число в команді <b>subplot</b> означає кількість гнізд із графіками по вертикалі, друге – по горизонталі, третє – номер гнізда, яке потрібно зробити активної<sup>5</sup>.</p>	<pre>subplot(2, 1, 1);</pre>
<p>27. Побудуйте графік зміни курсу. У команді <b>plot</b> спочатку вказують масив абсцис, потім – масив ординат. Двокрапка означає, що використовуються всі рядки.</p>	<pre>plot(phi(:,1),phi(:,2));</pre>
<p>28. Уведіть заголовок графіка.</p>	<pre>title('Курс');</pre>
<p>29. Уведіть назви осей координат. У середині апострофів для введення грецьких букв дозволяється використовувати команди Latex, Наприклад, «\phi» означає грецьку букву <math>\phi</math>, а «\delta» – букву <math>\delta</math>.</p>	<pre>xlabel('Час, сек'); ylabel('\phi, градуси');</pre>
<p>30. Аналогічно побудуйте в другому гнізді графік зміни кута повороту керма, використовуючи дані з масиву <b>delta</b>, отриманого в результаті моделювання.</p>	<pre>subplot(2, 1, 2); plot(delta(:,1),delta(:,2)); title('Кут повороту керма'); xlabel('Час, сек'); ylabel('\delta, градуси');</pre>
<p>31. Скопіюйте побудований графік у звіт.</p>	<pre>print -dmeta</pre>
<p>32. Вилучіть у вікні моделі зв'язок між приводом і об'єктом.</p>	

<sup>5</sup> При вводі цієї і наступних команд вікно з графіком не з'являється на екрані. Щоби побачити зміни, потрібно вручну зробити це вікно активним, клацнувши мишкою на відповідній копці «ПАНЕЛІ ЗАДАЧ».

<p>33. Додайте ще один блок <b>Sum</b> із групи <b>Math Operations</b> і встановіть його на місце, що звільнилося. Налаштуйте розташування входів і виходу так, щоб перший вхід був у верхній частині кола..</p>	<p> <b>lab3</b>          Подвійне клацання по блоку ++  у поле List of signs</p>
<p>34. Досліджуємо реакцію системи на постійний сигнал, прикладений безпосередньо до входу об'єкта. Він може моделювати якийсь постійний вплив, що обурює, наприклад, вплив вітру.</p>	
<p>35. Скопіюйте блок <b>Заданий курс</b>, перетягнувши його правою кнопкою миші, і встановіть для нього величину стрибка 2 градуса. Дайте йому назва <b>Збурювання</b>. Підключіть його вихід до нового суматора. Добудуйте потрібні сполучні лінії.</p>	<p> <b>lab3</b>          Перетаскування ПКМ.          Подвійне клацання по блоку 2 у поле Final Value          Подвійне клацання по імені</p>
<p>36. Скопіюйте отриману модель у звіт.</p> 	<p> <b>lab3</b>          Edit - Copy model to clipboard</p>
<p>37. Збільшіть час моделювання до 500 і виконаєте моделювання. Перевірте, чи вийшло судно на заданий курс 10 градусів.</p>	<p> <b>lab3</b>          Simulation - Simulation parameters - Stop time          ЛКМ по кнопці </p>
<p>38. Побудуйте передавальну функцію по збурюванню замкненої системи із ПД-Регулятором. З її допомогою поясніть результат, отриманий на попередньому кроці.</p>	
<p>39. Для цієї передавальної функції обчисліть коефіцієнт підсилення в режимі, що встановився. З його допомогою розрахуйте значення, що встановилося, сигналу виходу при заданому курсі 10 градусів і постійному збурюванні, еквівалентному 2 градусам повороту керма. чи Збігається це число з результатами моделювання?</p>	
<p>40. Перейдіть у командне вікно MATLAB і запам'ятаєте результати моделювання в нових масивах. Вони знадобляться для того, щоб зрівняти вихідний і скоректований варіанти системи.</p>	<pre>phi0 = phi; delta0 = delta;</pre>
<p>41. Щоб регулятор компенсував постійну складову збурювання, потрібно додати в нього інтегральний канал. Таким чином, виходить ПД-Регулятор. Підключіть паралельно регулятору інтегруючу ланку з передавальною функцією <math>\frac{1}{T_i s}</math>, <math>T_i = 200</math> сек. Збережіть модель і скопіюйте її у звіт.</p>	
<p>42. Виконаєте моделювання. Перевірте, чи вийшло судно на заданий курс 10 градусів.</p>	<p> <b>lab3</b>          ЛКМ по кнопці </p>



43. Побудуйте передавальну функцію по збурюванню замкненої системи з ПІД-Регулятором. З її допомогою поясніть результат, отриманий на попередньому кроці.	
44. Для цієї передавальної функції обчисліть коефіцієнт підсилення в режимі, що встановився. З його допомогою розрахуйте значення, що встановилося, сигналу виходу. Чи збігається це число з результатами моделювання?	
45. Побудуйте у верхній частині графіка 2 кривих – перехідні процеси за курсом для ПІД- і ПІД-Регуляторів. У команді <code>plot</code> можна перераховувати декілька пара масивів – перша пара відповідає першому графіку, друга – другому і т.д. Три крапки наприкінці рядка означають перенос команди на наступний рядок. Команда <code>legend</code> служить для виводу легенди – символічних рядків, що описують кожний з побудованих графіків.	<pre>subplot(2, 1, 1); plot(phi0(:,1), phi0(:,2), ...       phi(:,1), phi(:,2)); title('Курс'); xlabel('Час, сек'); ylabel('\phi, градуси'); legend(' ПІД-Регулятор', ...        ' ПІД-Регулятор');</pre>
46. Аналогічно побудуйте в нижній частині графіка 2 кривих – зміна кута перекладки керма для ПІД- і ПІД-Регуляторів, використовуючи дані з масивів <code>delta0</code> і <code>delta</code> .	
47. Скопіюйте побудований графік у звіт через буфер обміну. Зробіть виводи про вплив інтегрального каналу на перехідні процеси в системі.	
48. Побудуйте передавальну функцію розімкнутої системи з ПІД-Регулятором.	
49. Визначите запаси стійкості системи з ПІД-Регулятором. чи є вони достатніми?	<pre>[gm, phim] = margin(W) gm = 20*log10(gm)</pre>

**Таблиця коефіцієнтів (варіанти завдань)**

<b>Варіант</b>	$T_s$ , сек	$K$ , радий/сек	$T_R$ , сек	$T_{oc}$ , сек
1.	16.0	0.06	1	1
2.	16.2	0.07	2	2
3.	16.4	0.08	1	3
4.	16.6	0.07	2	4
5.	16.8	0.06	1	5
6.	17.0	0.07	2	6
7.	17.2	0.08	1	1
8.	17.4	0.07	2	2
9.	17.6	0.06	1	3
10.	17.8	0.07	2	4
11.	18.0	0.08	1	5
12.	18.2	0.09	2	6
13.	18.4	0.10	1	1
14.	18.6	0.09	2	2
15.	18.8	0.08	1	3
16.	19.0	0.07	2	4
17.	19.2	0.08	1	5
18.	19.4	0.09	2	6
19.	19.6	0.10	1	1
20.	18.2	0.0694	2	6

## Контрольні питання до захисту

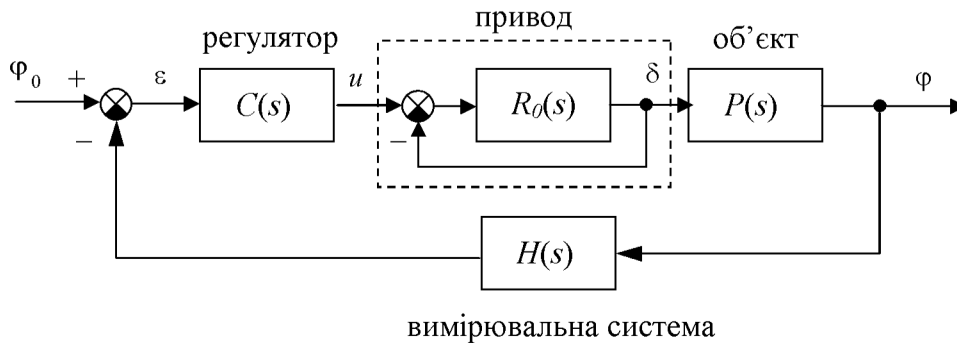
1. Див. усі питання до робіт № 1 і № 2.
2. Як знайти передавальну функцію інтегратора, охопленого зворотним зв'язком?
3. Як запустити пакет SIMULINK?
4. Що таке *Library Browser*?
5. Яке розширення мають файли – моделі SIMULINK?
6. Як створити нову модель?
7. Як з'єднати два блоки, що мають відповідно вільний вихід і вільний вхід?
8. Як зробити, щоб той самий сигнал надходив на кілька блоків?
9. Як передати результати моделювання в робочу область MATLAB? У якому виді вони передаються?
10. Як видалити блок або зв'язок між блоками?
11. Як визначити потрібні масштаби для осей координат у вікнах **Scope** і запам'ятати їх?
12. Як скопіювати блок у вікні моделі?
13. Як змінити знаки арифметичних дій у суматорі?
14. Як скопіювати зображення моделі в документ *Microsoft Word*?
15. Як змінити час моделювання?
16. Як змінити назву в блоку?
17. Як зробити, щоб назва блоку була з іншої сторони?
18. Як змінити колір тла блоку? колір напису?
19. Як увести параметри блоку **Transfer Fcn** (передавальна функція)?
20. Як знайти передавальну функцію системи по збурюванню?
21. Чому при використанні ПД-Регулятора система не компенсує постійне збурювання?
22. Як, знаючи статичний коефіцієнт підсилення по збурюванню, визначити, що встановилося відхилення від заданого курсу?
23. Якими властивостями повинна мати передавальна функція по збурюванню для того, щоб постійне збурювання повністю компенсувалося?
24. Якими властивостями повинен мати регулятор для того, щоб постійне збурювання повністю компенсувалося?
25. Які переваги дає використання інтегрального каналу в ПД-Регуляторі?
26. Чому порядок передавальної функції замкненої системи по збурюванню з ПД-Регулятором на 1 більше, чим для системи із ПД-Регулятором?
27. Які параметри ухвалює команда **subplot**?
28. Що означає двокрапку в записі **phi (: , 1)**?
29. Як вивести на графік заголовки і назви осей?
30. Як побудувати в одному вікні два різні графіки?
31. Як на одному графіку побудувати декілька кривих?
32. Що таке легенда? Як вивести легенду на графік?
33. Як виводити на графіку букви грецького алфавіту?

# Приклад виконання й звіту по лабораторній роботі

## Моделювання систем керування в пакеті SIMULINK

### Опис системи

Досліджується система керування судном за курсом, структурна схема якої показана на малюнку.



Рух судна описується лінійною математичною моделлю у вигляді передавальної функції

$$P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)}, \quad \text{де } K = 0.0694 \text{ радий/сек, } T_s = 18.2 \text{ сек,}$$

Привод моделюється як інтегруюча ланка, охоплена одиничним негативним зворотнім зв'язком, так що його передавальна функція рівна

$$R(s) = \frac{1}{T_R s + 1}, \quad T_R = 2 \text{ сек,}$$

Вимірювальний пристрій (гірокомпас) моделюється як аперіодична ланка з передавальною функцією

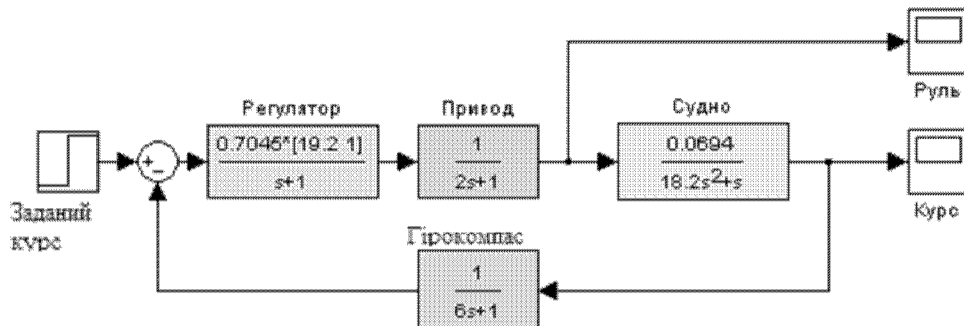
$$H(s) = \frac{1}{T_{oc} s + 1}, \quad T_{oc} = 6 \text{ сек,}$$

### Дослідження системи із ПД-Регулятором

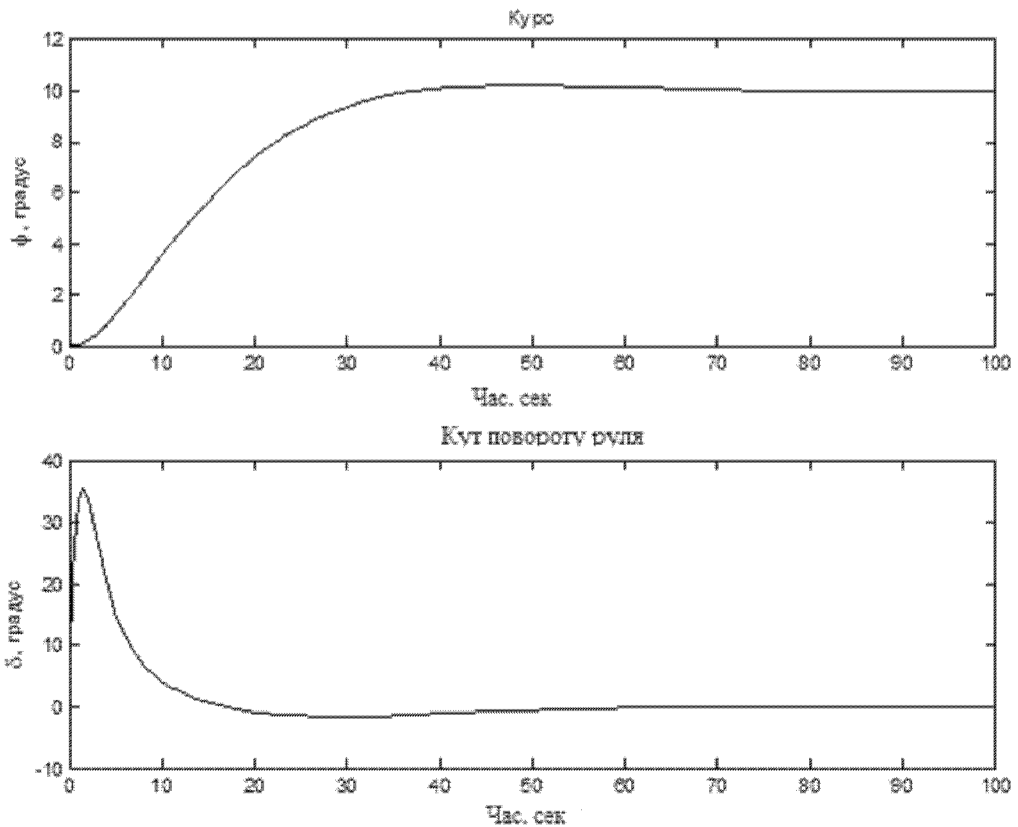
- передавальна функція ПД-Регулятора, що забезпечує перехідний процес мінімальної тривалості

$$C(s) = K_c \left( 1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right), \quad \text{де } K_c = 0.7045, T_s = 18.2 \text{ сек, } T_v = 1 \text{ сек,}$$

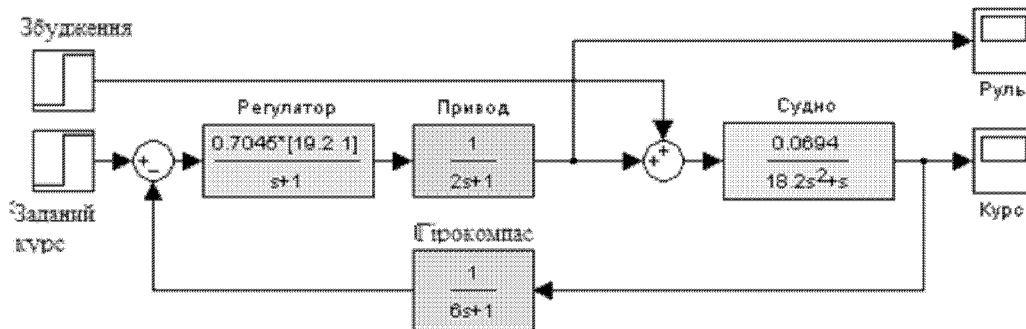
- модель системи із ПД-Регулятором



- перехідні процеси в системі із ПД-Регулятором при зміні курсу на 10 градусів



- модель системи із ПД-Регулятором з урахуванням зовнішнього збурювання



- передавальна функція по збурюванню для системи із ПД-Регулятором

$$0.003813 s^3 + 0.006355 s^2 + 0.00286 s + 0.0003178$$

---


$$s^5 + 1.722 s^4 + 0.8416 s^3 + 0.1245 s^2 + 0.008877 s + 0.0002239$$

- судно із ПД-Регулятором не вийшло на заданий курс 10 градусів, тому що ...
- статичний коефіцієнт підсилення  $k_s = 1.419$  значення, що встановилося, сигналу виходу повинне  $\varphi_\infty = \dots$  бути рівно, тому що ...; ці дані узгодяться з результатами моделювання?

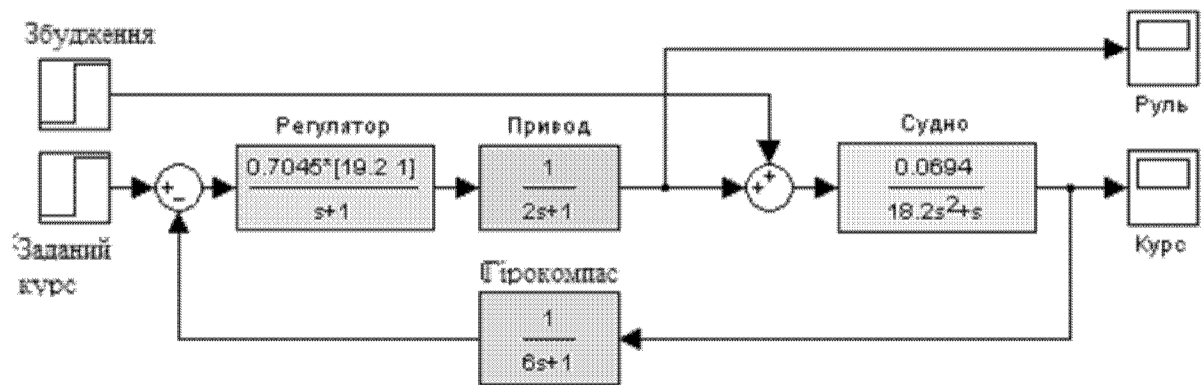
### Дослідження системи з ПД-Регулятором

- передавальна функція ПД-Регулятора

$$C(s) = K_c \left( 1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right) + \frac{1}{T_I s},$$

де  $K_c = 0.7045$ ,  $T_s = 18.2$  сек,  $T_v = 1$  сек,  $T_I = 200$  сек,

- модель системи з ПД-Регулятором з урахуванням зовнішнього збурювання



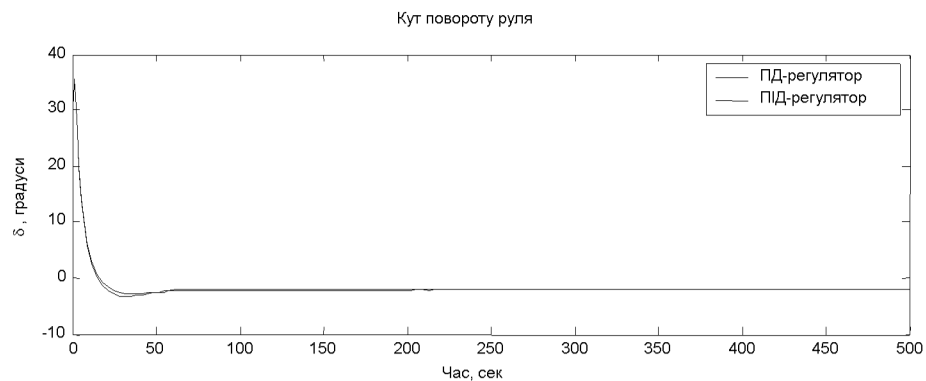
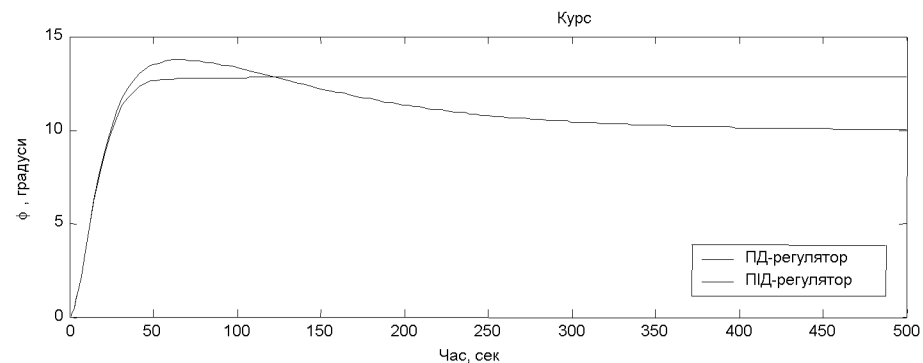
- передавальна функція по збурюванню для системи з ПД-Регулятором

$$0.003813 s^4 + 0.006355 s^3 + 0.00286 s^2 + 0.0003178 s$$

---


$$s^6 + 1.722 s^5 + 0.8416 s^4 + 0.1245 s^3 + 0.008877 s^2 + 0.0002255 s + 1.589e-006$$

- при використанні ПД-Регулятора судно виходить на заданий курс, тому що ...
- статичний коефіцієнт підсилення  $k_s = \dots$  значення, що встановилося, сигналу виходу повинне  $\varphi_\infty = \dots$  бути рівно, тому що ...; ці дані узгодяться з результатами моделювання
- перехідні процеси в системах із ПД- і ПД-Регуляторами



- при використанні ПД-Регулятора замість ПД-Регулятора ... (що покращилося?),
- при цьому сигнал керування ... (як змінився?)
- у той же час ... (що погіршилося?)

- передавальна функція розімкненої системи з ПД-Регулятором

$$\frac{0.004298 s^2 + 0.0002255 s + 1.589e-006}{s^6 + 1.722 s^5 + 0.8416 s^4 + 0.1245 s^3 + 0.004579 s^2}$$

- запас стійкості по амплітуді  $g_m = 18.4$  дБ, по фазі  $\varphi_m = 63^\circ$ , запаси є достатніми

## **ВИСНОВОК.**

### **Використана література:**