

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем  
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення

## **СИСТЕМА РАДІОКЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ**

Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю  
172 – Телекомунікації та радіотехніка,  
освітня програма – Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

Розробив студент гр. АРЗ-18м Костін І. І.  
керівник – к.т.н., доц., доцент каф. ТКСТБ Кононов С. П.

Вінниця ВНТУ 2019

## Мета та задачі роботи

*Метою роботи* є розроблення, теоретичне та модельне дослідження системи радіокерування рухом безпілотного літального апарату.

*Завданням магістерської кваліфікаційної роботи* є розробка і дослідження систем управління поздовжнім і поперечним рухом БПЛА на постійній висоті. При цьому етапи зльоту і набору заданої висоти в даній роботі не розглядаються, тобто передбачається, що всі БПЛА групи вже набрали задану висоту польоту. Проектовані системи управління повинні забезпечити необхідне маневрування на постійній висоті. Крім того необхідно розробити алгоритмів запобігання зіткнень БПЛА при їх польоті на постійній висоті.

*Задачами магістерської кваліфікаційної роботи* є:

- проаналізувати особливості БПЛА як об'єкта управління, сфери застосування БПЛА;
- розробити закони керування поздовжнім і поперечним рухом БПЛА, а також закони групового управління БПЛА;
- на основі цих законів розробити алгоритми цифрового управління БПЛА;
- провести моделювання польотом БПЛА і дослідити синтезовані системи управління БПЛА із застосуванням комп'ютера та програмного пакета MATLAB, а також реалізувати пристрій управління;
- проведення розрахунків економічної частини та розділу охорони праці.

## **Об'єкт і предмет досліджень, наукова та практична новизна**

*Об'єктом дослідження* є процеси передачі інформації в системі управління рухом БПЛА.

*Предметом дослідження* є параметри і характеристики системи управління рухом БПЛА.

*Наукова новизна одержаних результатів* – отримав подальший розвиток принцип радіокерування рухом БПЛА.

*Практична новизна одержаних результатів* – полягає в отриманих нових результатів теоретичних і модельних досліджень системи управління рухом БПЛА.

*Апробація результатів роботи.* Основні ідеї роботи доповідалися та обговорювалися на XLVII регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (м. Вінниця, 9-10 березня 2018).

*Публікації.* За темою досліджень автором опубліковано 3 статті в збірнику праць міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (Вінниця, ВНТУ, 14-16 листопада 2019 р.).

# Загальна характеристика та види БПЛА літакового типу



## Класифікація БПЛА за принципом польоту:

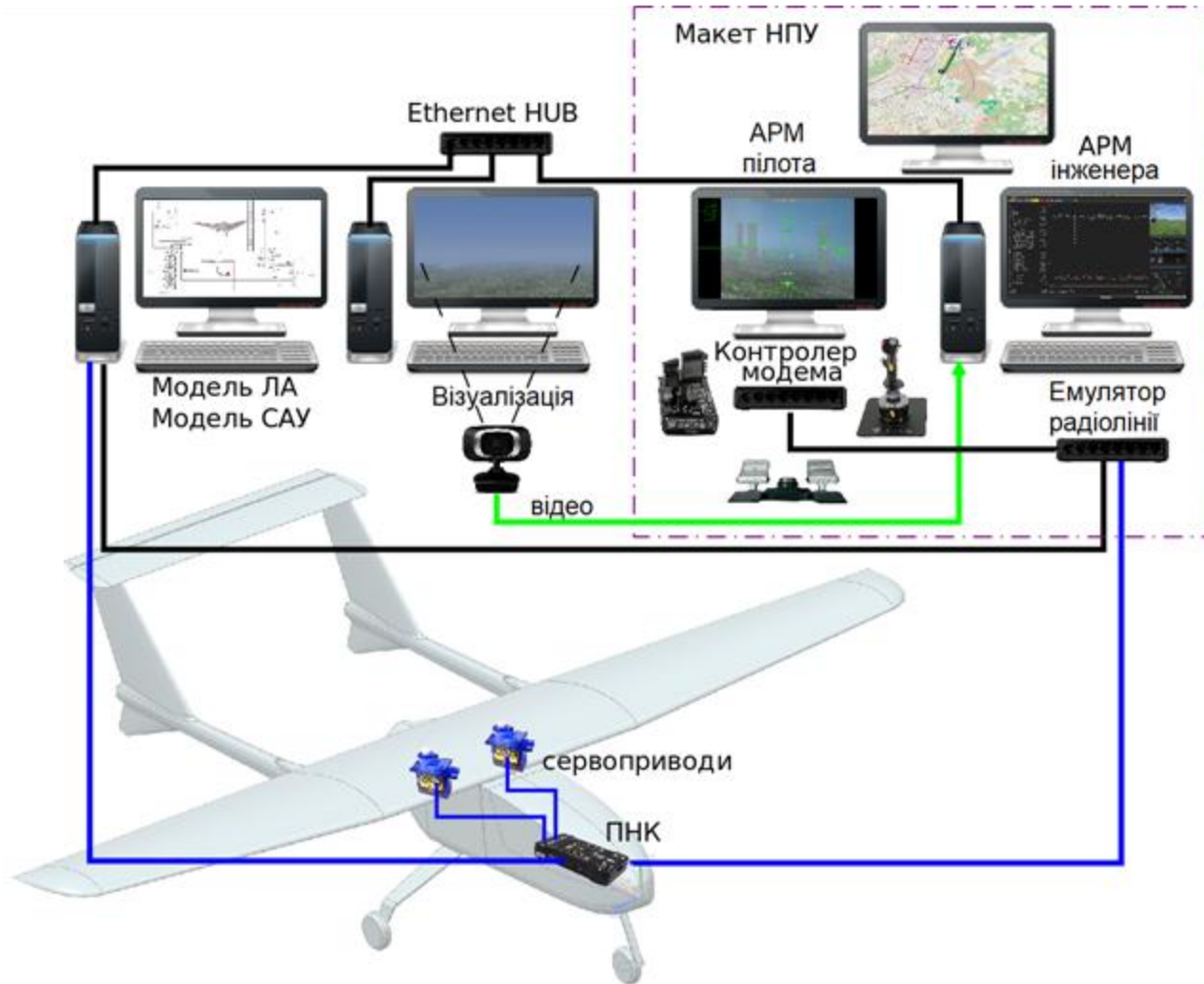
- БПЛА з жорстким крилом;
- БПЛА з гнучким крилом;
- БПЛА з обертовим крилом;
- БПЛА з махальним крилом;
- БПЛА аеростатичного типу.

Рис. 1. Збільшене подання сфер застосування БПЛА



Рис. 2. БПЛА літакового типу: розвідувальний БПЛА RQ-4 Global Hawk (а), запуск БПЛА зі злітно-посадкової смуги (б), запуск БПЛА за допомогою стартової катапульти (в), ручний запуск БПЛА (г), посадка БПЛА за допомогою парашута (д), модель БПЛА на сонячних елементах без акумуляторних батарей (е)

# Структурна схема комплексу моделювання керування рухом БПЛА



ЛА – літальний апарат, САУ – система автоматичного управління, ПНК – пілотажно-навігаційний комплекс, НПУ – наземний пункт управління, АРМ – автоматизоване робоче місце

# СИНТЕЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БПЛА

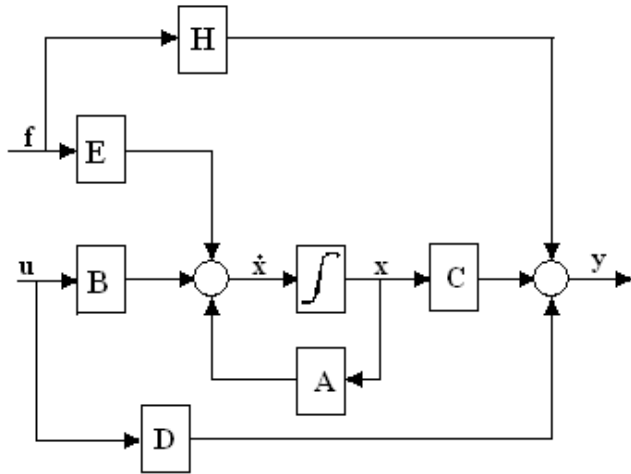


Рис. 1. Структурна схема об'єкта управління загального вигляду

У просторі стану лінійна стаціонарна система автоматичного управління описується системою алгебраїчних і диференціальних рівнянь вигляду

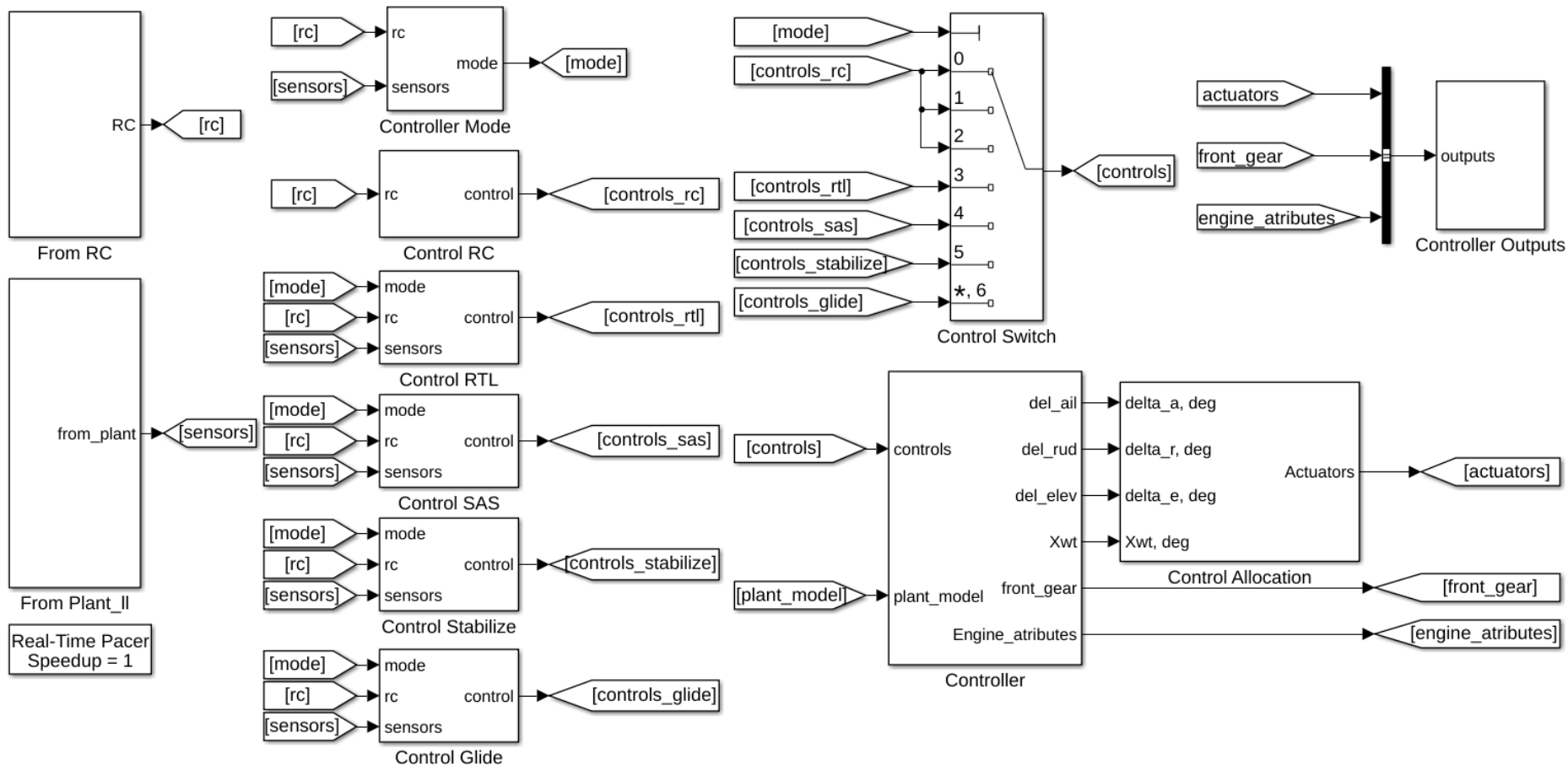
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \vdots \\ \dot{x}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1q} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{n1} & e_{n2} & \dots & e_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{l1} & c_{l2} & \dots & c_{ln} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{l1} & d_{l2} & \dots & d_{lm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1k} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{l1} & h_{l2} & \dots & h_{lk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

Рівняння (1) – це рівняннями стану, а (2) - рівняннями виходу, де  $x_i$  – змінні стану,  $u_j$  – управління,  $f_p$  – збуренням,  $y_s$  – вихідні величини об'єкта управління. Матриця A описує вплив змінних стану одна на іншу, матриця B – вплив управлінь на змінні стану, а матриця E – вплив збурень на змінні стану. Вихідні величини у об'єкта управління є лінійними комбінаціями його змінних стану x. Зазначені лінійні комбінації задаються матрицею C, а матриця D і H описують вплив управлінь та збурень на виході об'єкта.

# Модель системи автоматичного управління контролю рухом БПЛА



# Загальний вигляд та характеристики проєктованого БПЛА

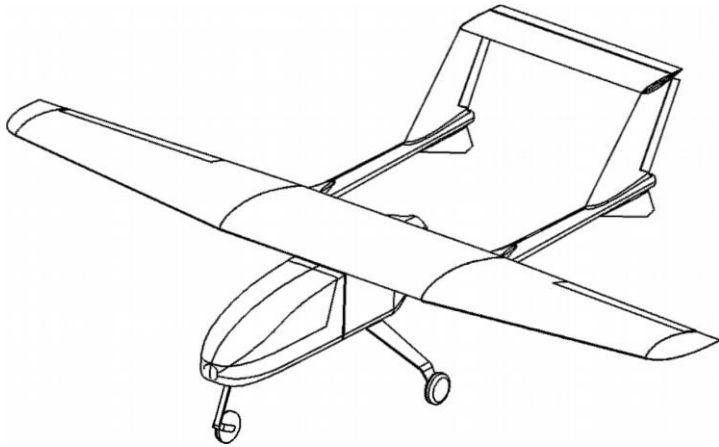


Рис. 1. Загальний вигляд БПЛА

Таблиця 1 – Характеристики БПЛА

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Розмах крила (l)	м	2,7
Площа крила (S)	м <sup>2</sup>	0,963
Маса (m)	кг	16,14
Середня аеродинамічна хорда (b)	м	0,3667
Моменти інерції:		
• по осі x (I <sub>x</sub> )	кг·м <sup>2</sup>	3,4
• по осі y (I <sub>y</sub> )	кг·м <sup>2</sup>	4,8
• по осі z (I <sub>z</sub> )	кг·м <sup>2</sup>	4,2

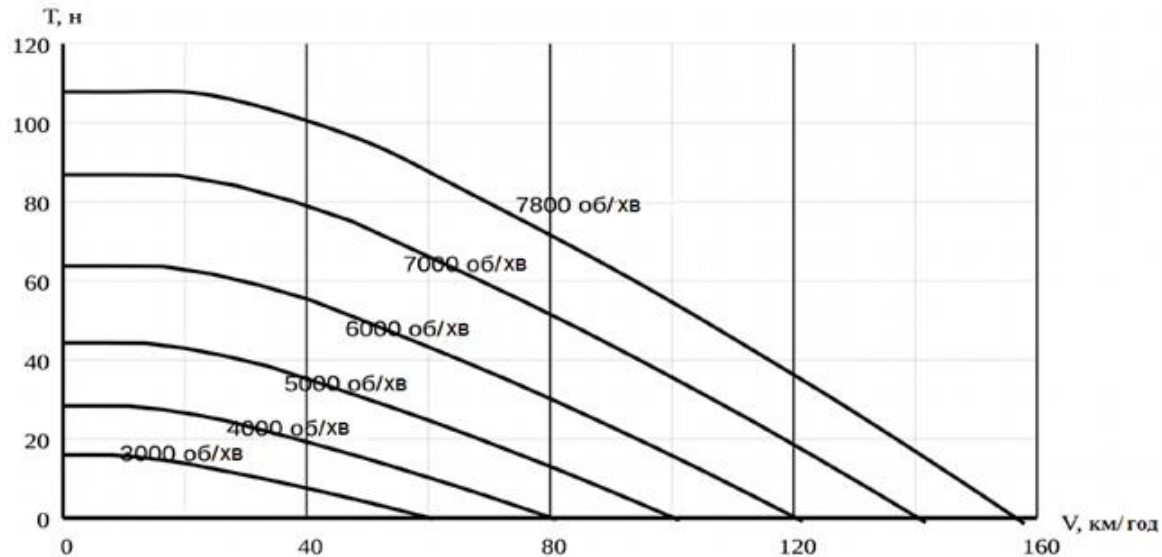


Рис. 2. Залежність тяги двигуна від швидкості та числа обертів



# Апаратна частини системи радіокерування рухом БПЛА

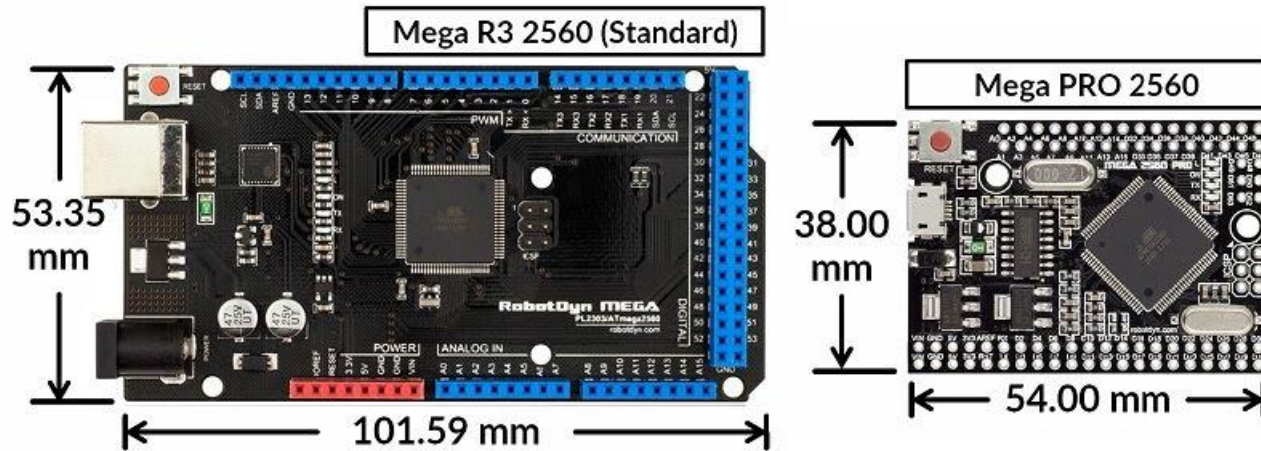


Рис. 1. Зовнішній вигляд і конструктивні розміри плат Arduino Mega2560 R3 і RobotDyn Mega2560 Pro

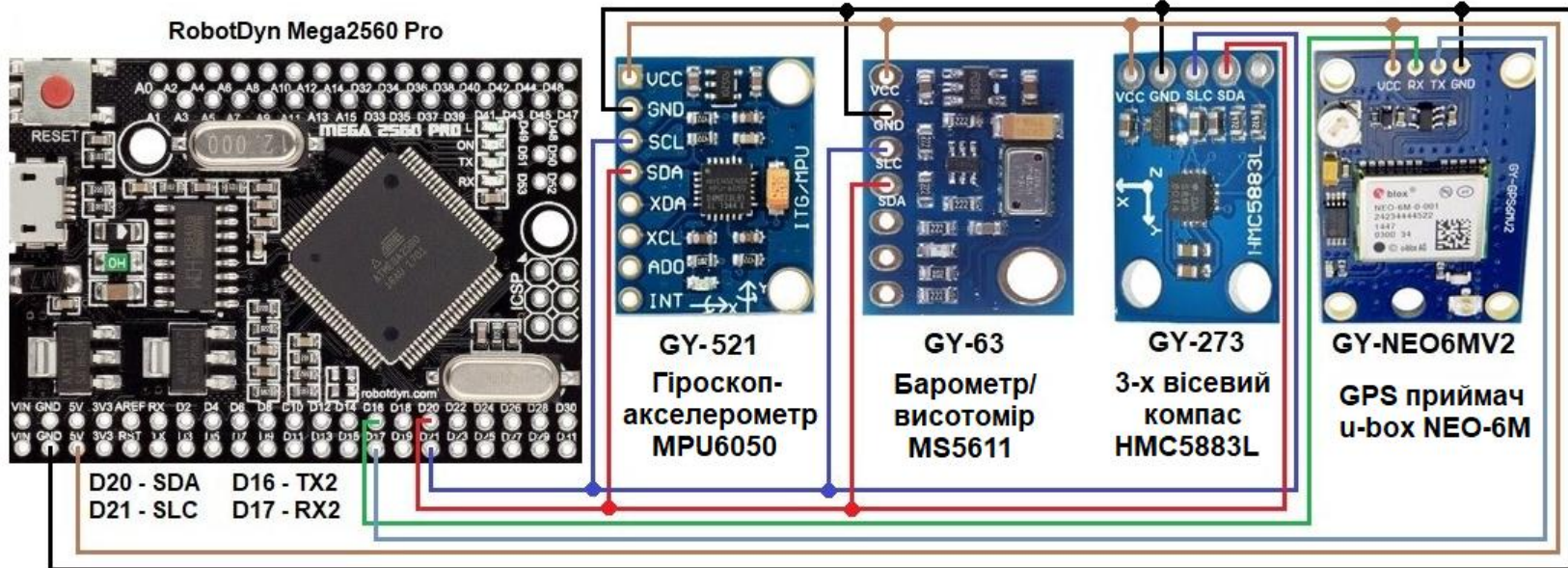


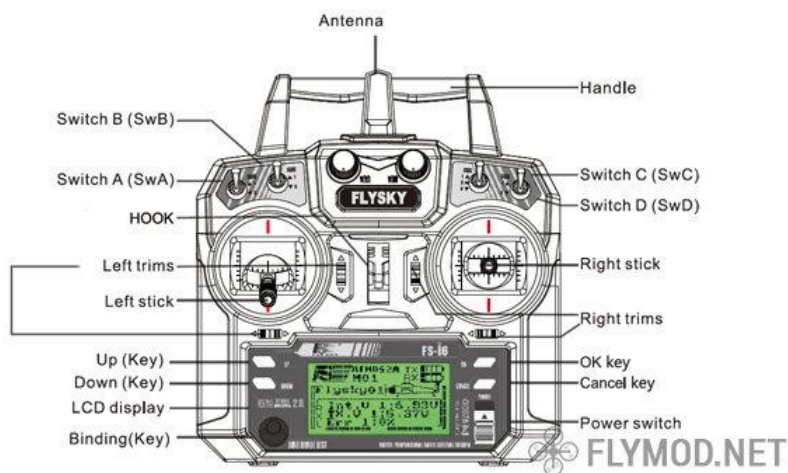
Рис. 2. Підключення датчиків до мікроконтролеру

# Передавач системи радіокерування рухом безпілотною літальною апарату



FLYMOD

а)



б)

Особливості передавача FlySky FS-I6:

1. Технологія AFHDS 2A (Automatic Frequency Hopping Digital System) - це запатентована компанією FlySky автоматична система по зміні час-тоти для поліпшення якості передачі сигналу.
2. Вбудована телеметрія, що показує напругу на приймачі.
3. Підтримка Failsafe при втраті сигналу.

## Технічні характеристики передавача FS-I6 :

Режим:	Mode 2
Кількість каналів:	6
Тип моделі:	планер / вертоліт / лі-так
Технологія:	2.4 ГГц, AFHDS
Тип коду:	модуляція GFSK
Живлення:	6V, 1.5AA * 4
Порт зарядки:	немає
Довжина антени:	26 мм
Розмір:	174 x 89 x 190 мм
Вага:	392г

Рис. 3. Універсальна апаратура радіоуправління FS-I6 на 6 каналів від компанії FlySky:  
а) зовнішній вигляд; б) призначення органів керування

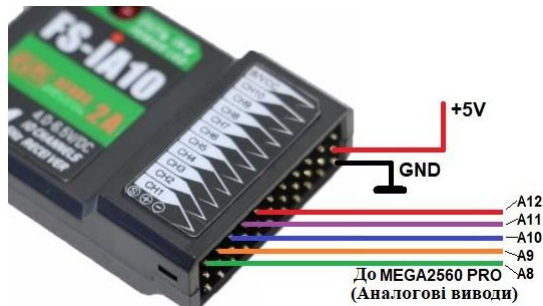
# Приймач системи радіокерування рухом безпілотного літального апарату



а)

Технічні характеристики десятиканального приймача для радіокерованих моделей FlySky 2.4G 10CH AFHDS 2A FS-iA10:

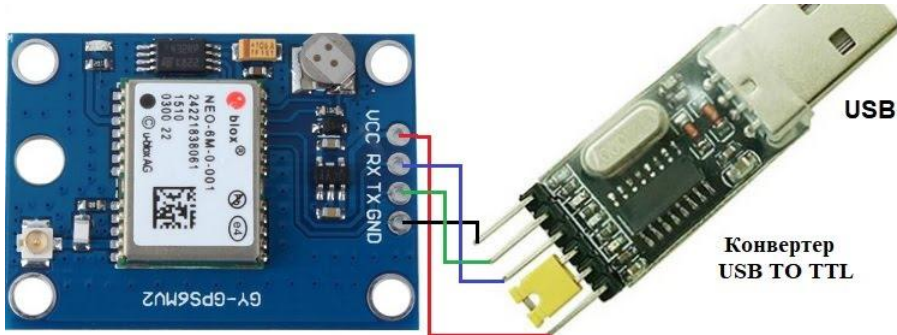
Кількість каналів:	.....10
Чутливість:	.....<20dB
Вибірність:	.....105dB
Частотний діапазон:	.....2,4055 - 2,475 ГГц
Ширина каналу:	.....500 кГц
Кількість діапазонів:	.....140
2.4G система:	.....AFHDS 2A
I-Bus інтерфейс:	.....Так
Тип коду:	.....GFSK
Робоча напруга:	.....4.0V - 6.5V
Розміри:	.....47x33.1x14.7 мм
Вага:	.....19.3 г



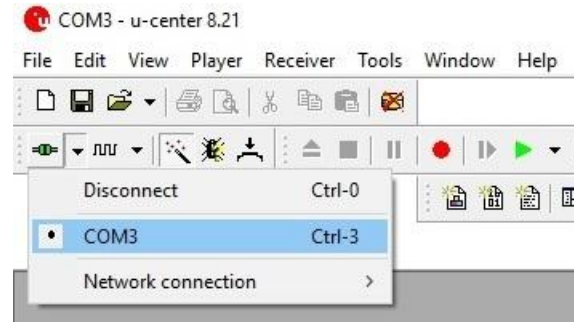
б)

Рис. 4. Зовнішній вигляд десятиканального приймача для радіокерованих моделей FlySky FS-iA10 (а) та підключення каналів приймача FS IA10 до аналогових виводів Ардуіно MEGA2560 PRO (б)

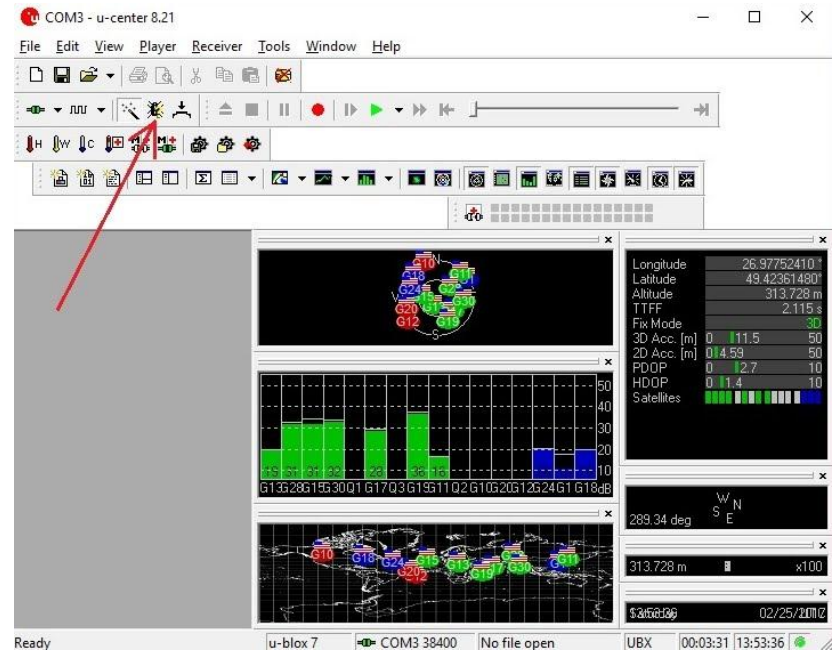
# Конфігурація та настроювання GPS модуля



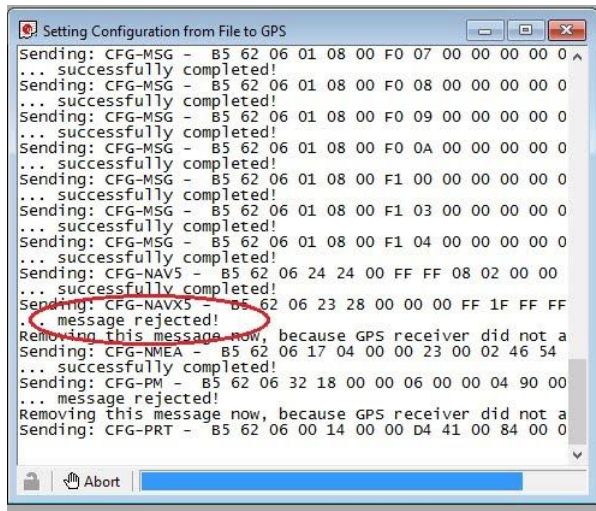
а)



б)



д)



в)

г)

Рис. 1. Налаштування GPS модуля u-blox NEO-6M (модель GY-GPSM6V2), який підключений до польотного контролера на базі Arduino Mega256 з прошивками MegaripateNG, Ardupilot, Multiwii, за допомогою програми u-center з подальшим формуванням конфігураційного файлу: а) підключення конвертера USB TO TTL до GPS модуля GY-GPSM6V2; б) встановлення номеру порту для підключення конвертера; в) вибір файлу з програмою; г) завантаження конфігураційного файлу; д) робоче вікно програми із завершеним настроюванням

# КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ РАДІОКЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

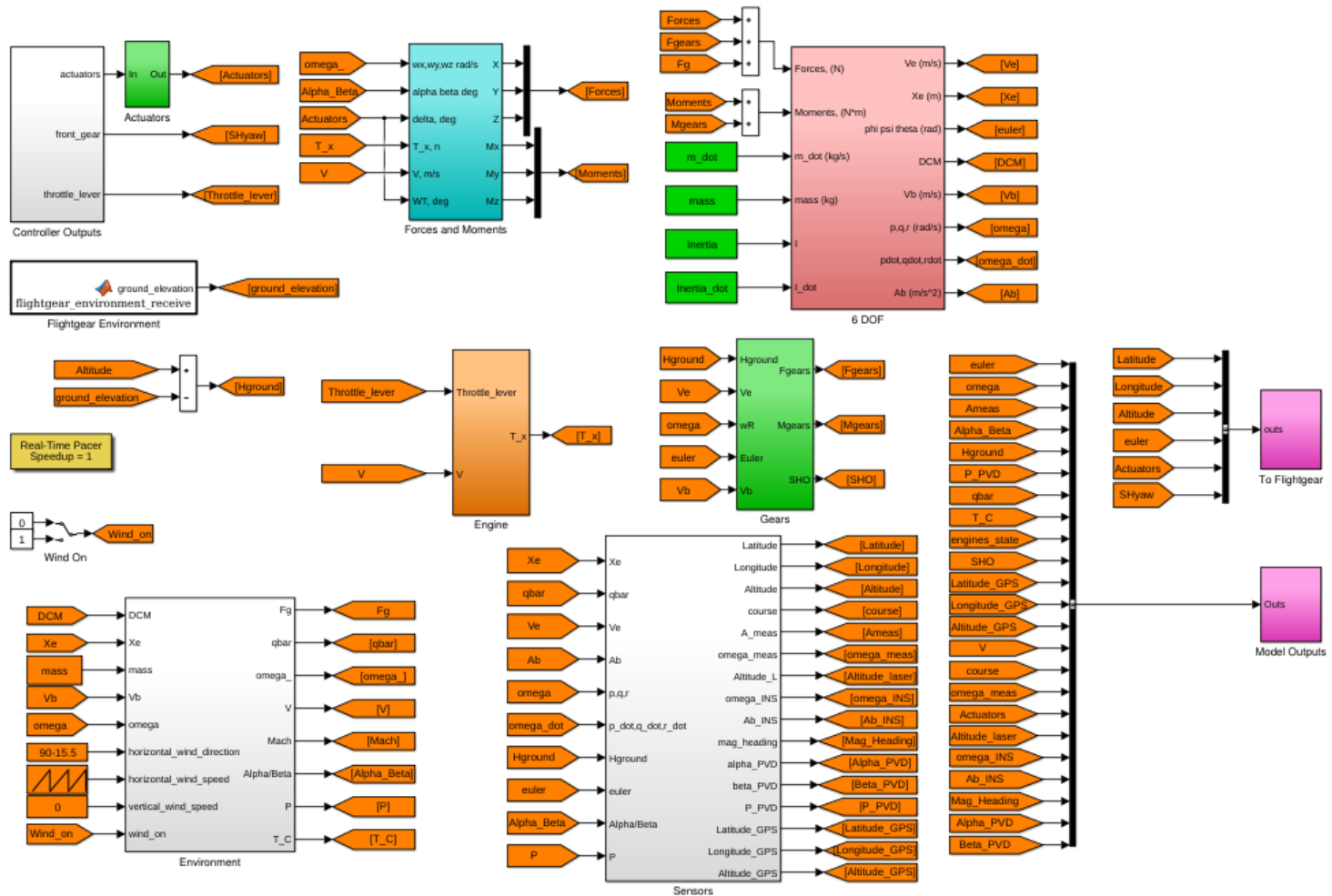
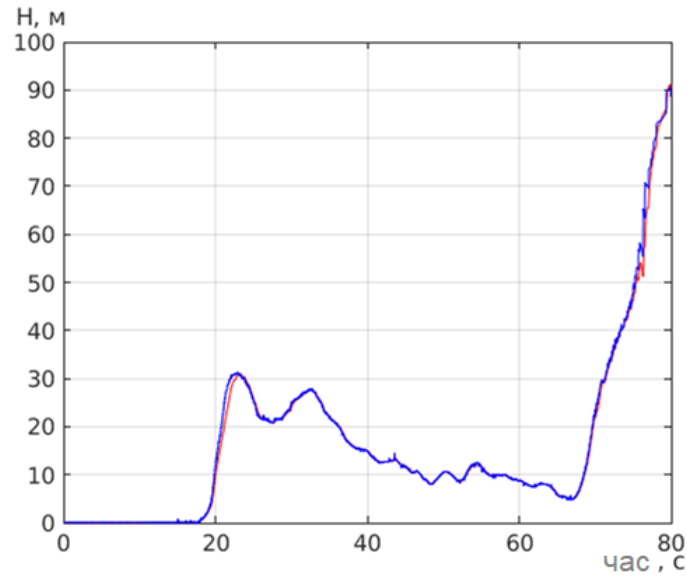
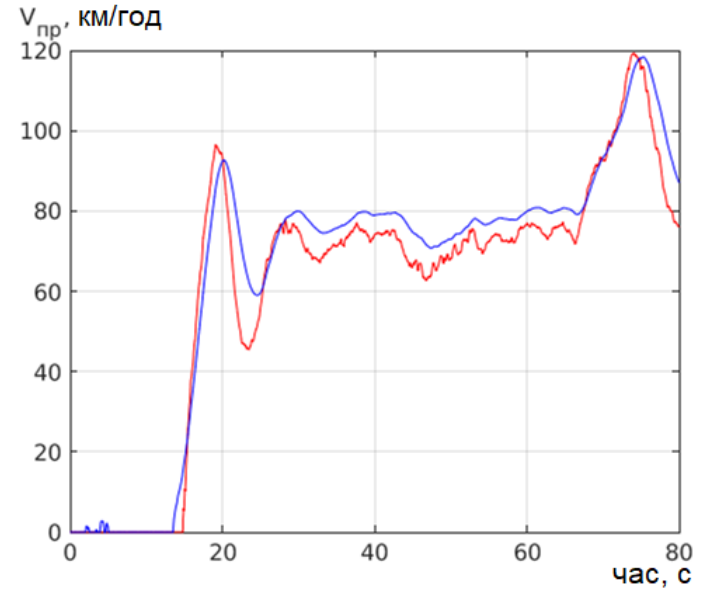


Рис. 1. Модель БПЛА в середовищі MATLAB/Simulink

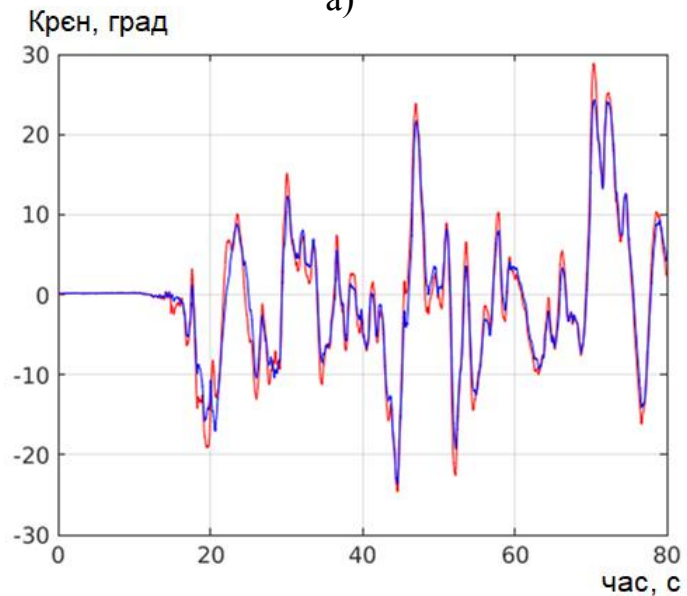
# Результати комп'ютерного моделювання



а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Графіки результатів модельних досліджень системи радіокерування рухом БПЛА:  
а) висота польоту, б) приладна швидкість, в) кут крена, г) кута тангажу

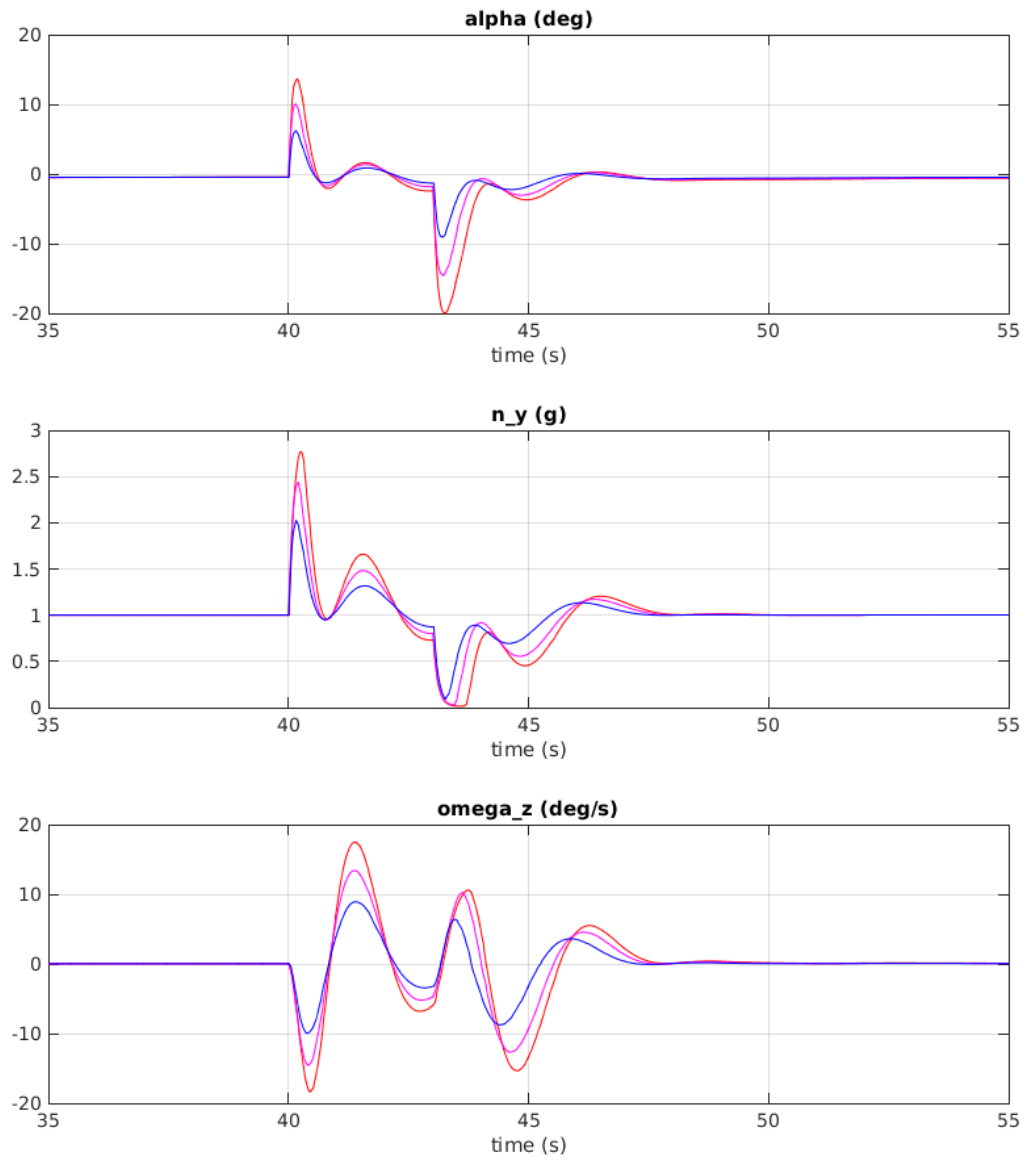


Рис. 2. Моделювання впливу поривів вітру на кутові положення БПЛА

Доповідь завершена.

Дякую за увагу!