

,

«_» _____ 2023 .

()

151 « « , » - »

: « _____ »

: _____ -113 _____

(, , , , ,)

: _____ , _____

(, , , , ,)

: _____ . . .

« » _____ . . .

«

» _____ . . .

_____ . . .
«_____» _____ 2023 .

(_____ , _____ , _____)

1. _____ «_____»
_____»

«_____» _____ 20__ .

2. _____ : _____ _____

3. _____ :

_____ , _____ ,
_____ , _____ ,
_____ .

4.

:

5.

:

6.

-

/			
1		15.10.2023- 28.10.2023	
2		01.10.2023- 05.10.2023	
3	.	05.10.2023- 30.10.2023	
4	,	01.11.2023- 10.11.2023	
5	,	10.11.2023- 27.11.2023	
5		27.11.2023- 10.12.2023	
6	Microsoft Office PowerPoint	10.12.2023- 12.12.2023	

7.

	.	.	
	.	.	

8.

: “ _____ ” _____ 20 _____ .

() (. . .)

() (. . .)

»: 113 « , 15 , 5 , 35

.
, - (, ,)

-
, ,

-
-

.
-
- .

, -
- .

:
, , , , , .

.....	9
1	!
1.1.	! .. !
1.2.	! .. !
1.3.	-
.....	14
2	17
.....	17
2.1.	' 17
2.2. 18
2.3. 21
3	22
3.1. 22
3.2. 24
3.3. 29
3.3.1. 29
3.3.2. 31
3.3.3.	, 37
3.3.4.	, 41
3.3.5. 44
3.4.	- 45

4.....	55
	-
	55
4.1.....	55
5.....	66
5.1.....	68
5.2.....	.
.....	!
5.3.....	69
5.4.....	72
5.5.....	74
5.6.....	
,	75
5.7 I.....	79
6.....	84
6.1.....	84
6.2.....	86
6.3.....	,

	!
	.
6.2.....	90
6.5.....	94
6.5.1.....	94
6.5.2.....	,
	,
.....	99
	105
	108
	109
	110

- ;
- ;
- ;
- - ;
- ;
- ;

GNSS (Global Navigation Satellite System) –
;

GPS (Global Positioning System) – ;

- ;

K - ;

- ;

/IMU –

-
-
-
-
-
-

IT –

1.

()

().

1.1.

GPS

(. GNSS — Global Navigation Satellite System) —

() ,

(, .) ,

50-

					. 23. 9 .55 000			
							10	113
					- 113M .			

, ,
 , ,
 . , ,
 .
 1973 ,
 DNSS. Navstar-GPS,
 – GPS.
 1974 ,
 1993 , 24- ,
 .
 . ,
 , ,
 , .
 1983 ,
 ,
 .
 2000 ,
 ,
 L1.
 20180 .
 : L2 = 1227,60 , L1 = 1575,42 , IIF
 L5 = 1176,45 .
 " " ,

GPS

L1/L2.

1.2.

() -

,

,

,

,

,

()

,

.

() /

,

,

,

,

,

,

,

,

(/IMU)

,

,

,

,

,

,

.

,

.

,

,

,

,

,

,

.

,

.

V2 (-2), ' ,

GN & C (Guidance, Navigation and Control) V2

500

" " 1950

1950-

, Inc.)

Atlas,

Convair

Atlas.

Atlas

Atlas 1954

Convair

Delta

(VGO),

Q,

Delta,

Q.

(v, xdv/dt)

Q

1956

1960-

1.3.

() ,
().

()

, GPS Beidou

2.2.

()

().

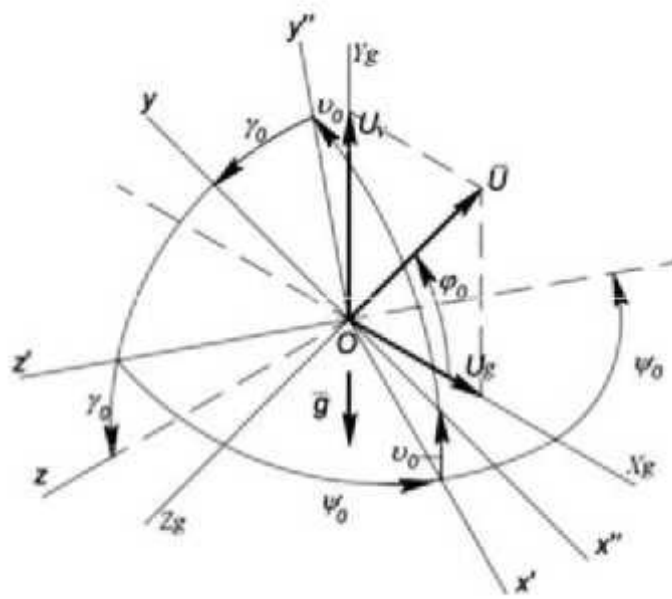
,

: (),

,

,

, OXYZ ,
 (2.1).
 OX_gY_gZ_g : , . OXYZ
 , , ()
 , (X), ,
 (Y) , (Z).



2.1 – OX_gY_gZ_g XYZ

[25, 26, 28]:

- 1) (, ,) , (, ,) ;
- 2) - , , .

1.

[27, 25].

2.

[29].

3.

(

).

4.

2.3.

()

[25 ,33].

30% [30, 33].

3.

3.1.

, , ,
 , , ,
 - , - ,
 - .
 ().
 ,
 .
 ,
 () .
 ,
 -

[31].

3.1.

V

$$\mathbf{r}^t = \|\tau_x \tau_y \tau_z\| .$$

□₃

$[\mathbf{r}]$,

() \mathbf{r} .

□₃

					. 23. 9 .55 000		
						22	113
					- 113M .		

()



- .

,

R

- .

r ,

V

i , j , k .

-

(λ), (r)

4x4

r

4x1 (

).

M₃

(λ) r ;

,

A.

-

-

.

-

,

-

,

.

-

,

[31].

-

()

,

,

90°.

.

,

-

,

-

,

,

-

,

.

,

,

.

,

.

Характеристика кінематичних параметрів

простір	Елементи простору	Формули ортогонального перетворення	Кінематичне рівняння
трьохмірне	$\mathbf{r} = r_x \mathbf{i} + r_y \mathbf{j} + r_z \mathbf{k},$ $\mathbf{r}^T = \begin{bmatrix} r_x & r_y & r_z \end{bmatrix}$	$\mathbf{r}' = \sum_{i=1}^3 \alpha_{ij} \mathbf{r}_i, \quad \mathbf{r}_i = \sum_{j=1}^3 \alpha_{ji} \mathbf{r}'_j$ $\alpha_{ij} = \cos(X_i, X'_j),$ $\mathbf{r}' = \mathbf{A} \mathbf{r}, \quad \mathbf{r} = \mathbf{A}^T \mathbf{r}'.$	$\dot{\psi} = \frac{1}{\cos \theta} [\omega_1 \cos \gamma - \omega_2 \sin \gamma];$ $\dot{\theta} = \omega_1 \sin \gamma + \omega_2 \cos \gamma;$ $\dot{\gamma} = \omega_1 + \tan \theta [\omega_1 \cos \gamma - \omega_2 \sin \gamma];$ $\psi(t_0) = \psi_0, \theta(t_0) = \theta_0; \gamma(t_0) = \gamma_0.$
трьохмірне	$[\mathbf{r}] = \begin{bmatrix} 0 & -r_z & r_y \\ r_z & 0 & -r_x \\ -r_y & r_x & 0 \end{bmatrix}$	$[\mathbf{r}'] = \mathbf{A} [\mathbf{r}] \mathbf{A}^T, \quad [\mathbf{r}] = \mathbf{A}^T [\mathbf{r}'] \mathbf{A}$	$\dot{\mathbf{A}} = -[\boldsymbol{\omega}] \mathbf{A}, \quad \mathbf{A}(t_0) = \mathbf{A}_0$
векторний	$\mathbf{R} = r_x \mathbf{i} + r_y \mathbf{j} + r_z \mathbf{k},$ $\boldsymbol{\Lambda} = \lambda_0 + \lambda_1 \mathbf{i} + \lambda_2 \mathbf{j} + \lambda_3 \mathbf{k}.$	$\mathbf{R}' = \overline{\boldsymbol{\Lambda}} \circ \mathbf{R} \circ \boldsymbol{\Lambda},$ $\mathbf{R} = \boldsymbol{\Lambda} \circ \mathbf{R}' \circ \overline{\boldsymbol{\Lambda}}$	$2\dot{\boldsymbol{\Lambda}} = \boldsymbol{\Lambda} \circ \boldsymbol{\Omega}, \quad \boldsymbol{\Lambda}(t_0) = \boldsymbol{\Lambda}_0$
чотирихмірний простір	$\mathbf{M}(\lambda) = \begin{bmatrix} \lambda_0 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 \\ \lambda_1 & \lambda_0 & -\lambda_3 & \lambda_2 \\ \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_0 & -\lambda_1 \\ \lambda_3 & -\lambda_2 & \lambda_1 & \lambda_0 \end{bmatrix},$ $\mathbf{r}^T = \begin{bmatrix} 0 & r_x & r_y & r_z \end{bmatrix}.$	$\mathbf{r}' = \overline{\mathbf{M}}(\lambda) \mathbf{M}^T(\lambda) \mathbf{r},$ $\mathbf{r} = \mathbf{M}(\lambda) \overline{\mathbf{M}}^T(\lambda) \mathbf{r}'.$	$2\dot{\lambda} = \mathbf{M}(\lambda) \boldsymbol{\omega} \lambda, \quad \mathbf{M}(t_0) = \mathbf{M}_0$

(,

).

3.2.

,

(, , ,

)

[2-7].

,

,

.

,

[8-10, 33]

.

:

—

;

—

;

—

;

—

.

.

,

.

,

,

.

GPS

,

,

,

GPS

.

,

,

.

,

,

GPS

.

, GPS
GPS

. [2-8].

[9].

()
:

(100);

1 (20),

().

;
 -
 ,
 ,
 “ - ”
 “ ”
 ,
 ,
 .

3.2.

3.2

	<ul style="list-style-type: none"> ○ ○ 	<ul style="list-style-type: none"> ○ (1...10). ○ ○
	<ul style="list-style-type: none"> ○ (100) ○ ○ ○ 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ○

3.1

(FANS- Future Air Navigation System)

[2-8].

3.3

Фактори	Ступінь поліпшення
Точність	Для ПНС: багаторазово
Маса	Зменшення на 30-70%
Об'єм	Зменшення на 50-60%
Споживана потужність	Зменшення на 25-50%
Надійність	Збільшення \approx в 2 рази
Ступінь резервування	Збільшення на 50 % більше
Вартість	Зменшення на 30% і більше

- ;
.

[2]

, , ,
,

3.3.

-

3.3.1

.

() [25, 33].

.
, , ,
, , ,
. , ,
, , .

.

Kalman filter, LKF) (, . Linearised
 filter, EKF). (, . Extended Kalman

\hat{x} x P

$$P = E((\hat{x} - x)(\hat{x} - x)^T), \quad (3.1)$$

E -

[7, 12]:

$$\begin{aligned}\hat{x}_k(-) &= {}_k\hat{x}_{k-1}(+) \\ P_k(-) &= {}_kP_{k-1}(+) \frac{T}{k} + Q_{k-1}\end{aligned}\tag{3.2}$$

$\hat{x}_k(-)$; ${}_k$

; $\hat{x}_k(+)$

; $P_k(-)$

; $P_k(+)$

; Q_k

$$\begin{aligned}K_k &= P_k(-)H_k^T(H_kP_k(-)H_k^T + R_k)^{-1} \\ \hat{x}_k(+)&= \hat{x}_k(-) + K_k(z_k - H_k\hat{x}_k(-))\end{aligned}\tag{3.3}$$

$$P_k(+)= P_k(-) - K_kH_kP_k(-)$$

H_k - ; K_k -

; $P_k(-)$

; $P_k(+)$

; R_k

; $\hat{x}_k(-)$

; $\hat{x}_k(+)$

; z_k , $H_k\hat{x}_k(-)$

3.3.2.

$$\tilde{\mathbf{a}} = [\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \tilde{a}_3]^T.$$

[51 -56]:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{F}\mathbf{x} + \mathbf{n}, \quad (3.4)$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mu \\ \mathbf{u} \mathbf{v} \\ \mathbf{u} \mathbf{r} \end{bmatrix} \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ C & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0 & -\tilde{a}_3 & \tilde{a}_2 \\ \tilde{a}_3 & 0 & -\tilde{a}_1 \\ -\tilde{a}_2 & \tilde{a}_1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{n} = \begin{bmatrix} n_\mu \\ \mathbf{n}_v \\ \mathbf{n}_r \end{bmatrix}; \quad \mathbf{0}, \mathbf{I}$$

3 3.

Δt ,

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + \mathbf{n}_k; \quad \mathbf{F}_k = I + F\Delta t + \frac{(\Delta t)^2}{2} F^2 = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ C \cdot \Delta t & I & 0 \\ C \cdot \frac{(\Delta t)^2}{2} & I \cdot \Delta t & 0 \end{bmatrix}, \quad (3.5)$$

\mathbf{n}_k -

$k\Delta t, \quad \mathbf{0}, \mathbf{I}$ -

k

3 3.

GPS

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k; \quad \mathbf{H} = \begin{bmatrix} 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix}. \quad (3.6)$$

$$\mathbf{z}_k = \begin{bmatrix} v_{\text{GPS}} \\ \mathbf{r}_{\text{GPS}} \end{bmatrix}^T - \text{GPS, } \mathbf{H} -$$

$$, \mathbf{x}_k - , k - ; 0, I -$$

$$3.3.$$

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{B}_k \mathbf{u}_k + \mathbf{n}_k, \quad (3.7)$$

$$\mathbf{u}_k - , \Gamma_k .$$

$$:$$

$$\mathbf{u}_k = -\mathbf{D}_k \hat{\mathbf{x}}_k, \quad \hat{\mathbf{x}}_k = \bar{\mathbf{x}}_k + \mathbf{K}_k (\mathbf{z}_k - \mathbf{H} \bar{\mathbf{x}}_k), \quad \bar{\mathbf{x}}_{k+1} = \mathbf{A}_k \hat{\mathbf{x}}_k + \mathbf{B}_k \mathbf{u}_k, \quad (3.8)$$

$$\mathbf{D}_k ,$$

$$, \quad \mathbf{X}_k \quad \mathbf{D}_k \quad (3.7-3.8)$$

$$, \quad \hat{\mathbf{x}}_k, \quad :$$

$$K_k = P_k(-) H^T (H P_k(-) H^T + R_k)^{-1}, \quad (3.9)$$

$$P_{k+1}(-) = \Phi_k P_k(+) \Phi_k' + Q_k^T, \quad (3.10)$$

$$P_k(+) = P_k(-) - K_k (H P_k(-) H^T + R_k) K_k^T. \quad (3.11)$$

(3.9-3.11)

(3.9) (3.11)

$$H_k \quad H$$

$$\mathbf{Q}_k, \mathbf{R}_k \quad \mathbf{n}_k, \quad k,$$

$$(3.5-3.6). \quad P_0$$

$$\mathbf{x}$$

$j > 1$

$$(3.5), \quad - \quad (3.10) ($$

H=0).

$$(3.11).$$

[10, 11].

[7].

$$, \quad [12].$$

QR-

R_k

$$(3.9).$$

Z,

$$Z = \begin{bmatrix} P & -M \\ A & B \end{bmatrix},$$

Z^{-1} ,

[11]:

$$Z^{-1} = \begin{bmatrix} P^{-1} - P^{-1}M(B + AP^{-1}M)^{-1}AP^{-1} & P^{-1}M(B + AP^{-1}M)^{-1} \\ -(B + AP^{-1}M)^{-1}AP^{-1} & (B + AP^{-1}M)^{-1} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$Z^{-1} = \begin{bmatrix} (P + MB^{-1}A)^{-1} & (P + MB^{-1}A)^{-1}MB^{-1} \\ -B^{-1}A(P + MB^{-1}A)^{-1} & B^{-1} - B^{-1}A(P + MB^{-1}A)^{-1}MB^{-1} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$$Z \quad : \quad A = H, \quad M = H^T, \\ P = P_k(-)^{-1} = P_k^{-1} \quad (\quad), \quad B = R_k.$$

$$Z^{-1} \quad (3.12-3.13) \quad :$$

$$Z^{-1} = \begin{bmatrix} P_k - P_k H^T (R_k + H P_k H^T)^{-1} H P_k & P_k H^T (R_k + H P_k H^T)^{-1} \\ -(R_k + H P_k H^T)^{-1} H P_k & (R_k + H P_k H^T)^{-1} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$Z^{-1} = \begin{bmatrix} (P_k^{-1} + H^T R_k^{-1} H)^{-1} & (P_k^{-1} + H^T R_k^{-1} H)^{-1} H^T R_k^{-1} \\ -R_k^{-1} H (P_k^{-1} + H^T R_k^{-1} H)^{-1} & R_k^{-1} - R_k^{-1} H (P_k^{-1} + H^T R_k^{-1} H)^{-1} H^T R_k^{-1} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$$Z^{-1} \quad (3.14-3.15), \quad :$$

$$K_k = (P_k^{-1} + H^T R_k^{-1} H)^{-1} H^T R_k^{-1} \quad (3.16)$$

$$(3.11).$$

$$(3.9) \quad (3.11)$$

$$P_k$$

$$P_k(-):$$

$$\begin{aligned} P_k(+) &= P_k - K_k (H P_k H^T + R_k) K_k^T = \\ &= P_k - P_k H^T (H P_k H^T + R_k)^{-1} (H P_k H^T + R_k) (P_k H^T (H P_k H^T + R_k)^{-1})^T = \\ &= P_k - P_k H^T \left(P_k H^T (H P_k H^T + R_k)^{-1} \right)^T = \\ &= P_k - P_k H^T \left((H P_k H^T + R_k)^{-1} \right)^T (P_k H^T)^T = \\ &= P_k - P_k H^T \left((H P_k H^T + R_k)^{-1} \right) H P_k \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$(A^T)^T = A, \quad (AB)^T = B^T A^T, \quad C^T = C, \quad - \quad .$$

$$Z^{-1} \quad (2.72-2.73), \quad :$$

$$P_k(+) = (P_k^{-1} + H^T R_k^{-1} H)^{-1} \quad (3.18)$$

$$(3.16) \quad 2.78 \quad :$$

$$K_k = P_k(+) H^T R_k^{-1} \quad (3.19)$$

$$, \quad m_k, p_k, q_k, y_k$$

$$P_k(-), P_k(+), Q_k, R_k, \quad :$$

$$P_{k+1}(-) = m_k m_k^T, \quad P_k(+) = p_k p_k^T, \quad Q_k = q_k q_k^T, \quad R_k = y_k y_k^T.$$

(3.17)

:

$$P_k(+)=p_k p_k^T=m_k(I-m_k^T H^T(H m_k m_k^T H^T+R_k)^{-1} H m_k) m_k^T. \quad (3.20)$$

 Z^{-1} (3.12-3.13),

$$: P^{-1}=I, M=m_k^T H^T, B=R_k,$$

$$A=H m_k.$$

,

:

$$\begin{aligned} P_k(+)=p_k p_k^T &= m_k(I-m_k^T H^T(H m_k m_k^T H^T+R_k)^{-1} H m_k) m_k^T = \\ &= m_k(I+m_k^T H^T R_k^{-1} H m_k)^{-1} m_k^T. \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$, \quad m_k(\dots) m_k^T .$$

,

,

:

$$\begin{aligned} I+m_k^T H^T R_k^{-1} H m_k &= N_k N_k^T \\ N_k &= \begin{bmatrix} I & m_k^T H^T y_k^{-1} \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

U,

QR-

$$(\quad), \quad N^T \quad :$$

$$\begin{bmatrix} \Lambda_k \\ 0 \end{bmatrix} = U_k N_k^T, \quad (3.22)$$

$$\Lambda_k - ,$$

$$(3.21) \quad (3.22) \quad :$$

$$\begin{aligned} p_k p_k^T &= m_k(I+m_k^T H^T R_k^{-1} H m_k)^{-1} m_k^T = \\ &= m_k(N_k U_k^T U_k N_k^T)^{-1} m_k^T = \\ &= m_k(\Lambda_k^T \Lambda_k)^{-1} m_k^T = m_k(\Lambda_k)^{-1} (\Lambda_k^T)^{-1} m_k^T = \\ &= m_k(\Lambda_k)^{-1} (\Lambda_k^{-1})^T m_k^T \end{aligned}$$

,

:

$$p_k = m_k \Lambda_k^{-1}. \quad (3.23)$$

(3.10)

QR-

Z_k .

$$m_{k+1} m_{k+1}^T = T_k T_k^T,$$

$$T_k = [\Phi_k p_k \quad q_k]; \tag{3.24}$$

$$\begin{bmatrix} X_k^T \\ 0 \end{bmatrix} = Z_k T_k^T, \tag{3.25}$$

$$m_{k+1} m_{k+1}^T = T_k Z_k^T Z_k T_k^T = X_k X_k^T$$

, :

$$m_{k+1} = X_k. \tag{3.26}$$

$$m_k, y_K \tag{3.22 - 3.23},$$

$$p_k, \tag{3.24 - 3.26),} \quad m_{k+1}.$$

3.3.3.

,

,

.

,

,

.

$$, \quad (V_k),$$

(z)

$$, \quad (H \bar{x}_k):$$

$$V_k = z_k - H \bar{x}_k. \tag{3.27}$$

z_k H z_k
 $:$

$$z_k = [v_{GPS} \quad r_{GPS} \quad h]^T,$$

h
 $:$

$$H = \begin{bmatrix} 0_{[3 \times 3]} & I_{[3 \times 3]} & 0_{[3 \times 3]} \\ 0_{[3 \times 3]} & 0_{[3 \times 3]} & I_{[3 \times 3]} \\ 0_{[1 \times 9]} & & 1 \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

$0_{[ixj]}$
 $\dots [6]$

(\bar{m}) ,
 $x (m = [1 \quad 0 \quad 0]^T)$,
 $(\bar{m}) \quad \bar{A}$, γ

[68] :

$$\bar{A}\bar{m} - m = m \times \gamma. \quad (3.29)$$

(3.29) ,
 γ m $(\bar{A}\bar{m})$.

(3.29) $m \times$

$$-x = m \times (\bar{A}\bar{m} - m). \quad (3.30)$$

$m \quad \gamma,$

$\gamma,$

$$\mu, \quad (3.4).$$

GPS,

$z_k,$

(9x1):

$$z_k = \begin{bmatrix} -\tilde{x} \\ \tilde{v} \\ \tilde{r} \\ h \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

$\tilde{\gamma} -$ (2x1),

$\gamma,$

(3.30), $\tilde{v} -$ GPS

(3x1) $\tilde{r} -$ GPS, (3x1), $h -$ H

:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{[2 \times 1]} & \mathbf{I}_{[2 \times 2]} & \mathbf{0}_{[2 \times 6]} \\ \mathbf{0}_{[3 \times 3]} & \mathbf{I}_{[3 \times 3]} & \mathbf{0}_{[3 \times 3]} \\ \mathbf{0}_{[3 \times 3]} & \mathbf{I}_{[3 \times 3]} & \mathbf{0}_{[3 \times 3]} \\ \mathbf{0}_{[1 \times 8]} & & 1 \end{bmatrix}, \dim(\mathbf{H}) = [9 \times 9] \quad (3.32)$$

$\mathbf{0}_{[ixj]} -$, $\mathbf{I}_{[ixj]} -$

$\mathbf{H}_e,$

u

d.

[15, 19].

IGRF (

International Geomagnetic Reference Field, IGRF),

(International

Association of Geomagnetism and Aeronomy, IAGA) [18].

6.248 °,

– 66,813 °,

$$\begin{bmatrix} H_x & H_y & H_z \end{bmatrix}^T = [17818 \quad 1951 \quad 41847]^T nT .$$

$$: mag = [0,3914 \quad 0,0429 \quad 0,9192]^T .$$

[6

].

τ

:

$$m = \ddagger \cdot m_{\ddagger} , \tag{3.33}$$

$$m = [1 \quad 0 \quad 0]^T , m_{\tau} -$$

(

).

τ

$$\tau = \begin{bmatrix} \text{mag}_1 & \text{mag}_{2:3}^T \\ -\text{mag}_{2:3} & pI_{2 \times 2} - \frac{1}{1 + \text{mag}_1} \text{mag}_{2:3} \text{mag}_{2:3}^T \end{bmatrix}, \quad (3.34)$$

$$\ddagger^{-1} = p^{-2} \ddagger^T, \quad p^2 = \text{mag}_1^2 + \text{mag}_{2:3}^T \text{mag}_{2:3}.$$

$$\mathbf{x} = [\mu \quad \delta \mathbf{v} \quad \delta \mathbf{r}]^T,$$

$$\bar{\boldsymbol{\mu}} = \tau \cdot \boldsymbol{\mu} \quad (3.35)$$

$$\bar{\boldsymbol{\mu}} = \tau \cdot \boldsymbol{\mu} \quad (3.35)$$

$$k, \quad (3.10), \quad :$$

$$\bar{\boldsymbol{\mu}}_k = \boldsymbol{\mu}_k^T; \quad \boldsymbol{\mu}_k = \text{diag}\{\ddagger, I, I\}. \quad (3.36)$$

$$(3.29) \quad :$$

$$\bar{\mathbf{A}} \bar{\mathbf{m}}_\tau - \mathbf{m}_\tau = \mathbf{m}_\tau \times \boldsymbol{\gamma}_\tau \quad (3.37) \tau$$

$$\bar{\mathbf{m}}_\tau - \boldsymbol{\gamma}_\tau - \tau, \quad (3.37)$$

$$\tau \bar{\mathbf{A}} \bar{\mathbf{m}}_\tau - \mathbf{m} = \mathbf{m} \times \bar{\boldsymbol{\gamma}}, \quad \bar{\boldsymbol{\gamma}} = \tau \boldsymbol{\gamma}_\tau \quad (3.38)$$

$$(3.37) \quad (3.38) \quad :$$

$$-\bar{\boldsymbol{\gamma}} = \mathbf{m} \times \tau \bar{\mathbf{A}} \bar{\mathbf{m}}_\tau. \quad (3.39)$$

$$\boldsymbol{\gamma} \quad \mathbf{m},$$

$$\bar{\boldsymbol{\gamma}} \quad , \quad ,$$

(3.31). $\bar{\gamma}, \mathbf{z}_k$

(3.8) \mathbf{x}_k

θ^T, \mathbf{x}_k

$\bar{\mu}, \mu$ (3.35)

3.3.4.

[69].

: μ -

, $\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{u}, \mathbf{r}$ -

NED - $\tilde{\mathbf{a}} = [\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \tilde{a}_3]^T$. $\delta \mathbf{c}$

$\delta \mathbf{c}$:

$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{F}\mathbf{x} + \mathbf{n}$, (3.40)

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mu \\ \mathbf{u} \mathbf{v} \\ \mathbf{u} \mathbf{r} \\ \mathbf{u} c \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & A^T \\ C & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0 & -\tilde{a}_3 & \tilde{a}_2 \\ \tilde{a}_3 & 0 & -\tilde{a}_1 \\ -\tilde{a}_2 & \tilde{a}_1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{n} - \quad ; 0, I -$$

$$\Delta t, \quad :$$

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + \mathbf{n}_k;$$

$$\Phi_k = I + F\Delta t + \frac{(\Delta t)^2}{2} F^2 = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 & A^T \Delta t \\ C\Delta t & I & 0 & CA^T \frac{(\Delta t)^2}{2} \\ C \frac{(\Delta t)^2}{2} & I\Delta t & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

$$\mathbf{n}_k - \quad , \quad k$$

$$k\Delta t.$$

GPS ,

nfrbq :

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{n}_k; \quad \mathbf{H} = \begin{bmatrix} 0_{8 \times 1} & I_{8 \times 8} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.42)$$

$$\mathbf{z}_k = [-\tilde{\chi} \quad v_{GPS} \quad r_{GPS} \quad h]^T - \quad , \quad \tilde{\gamma} -$$

(2x1), γ ,

$$(3.39), v_{GPS} - \quad \text{GPS} \quad , \quad ($$

$$3 \times 1) \quad r_{GPS} - \quad \text{GPS} \quad , \quad (\quad 3 \times 1), h -$$

$$; \mathbf{H} - \quad , \mathbf{x}_k - \quad ,$$

$$k - \quad ; 0_{ij}, I_{ij} -$$

[71],

$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= \bar{x}_k + K_k (z_k - H\bar{x}_k), \\ \bar{x}_{k+1} &= \Phi_k \hat{x}_k. \end{aligned} \tag{3.43}$$

K_k ,

\hat{x}_k ,

(3.41),

—

(3.10) (

$H=0$).

(3.11).

$$\begin{aligned} & \sim_k, \mathbf{u}v_k, \mathbf{u}r_k - \hat{x}_k \tag{3.43} \\ t_k. & \quad (\delta c_k) \end{aligned}$$

$\bar{\omega}(t_k)$,

:

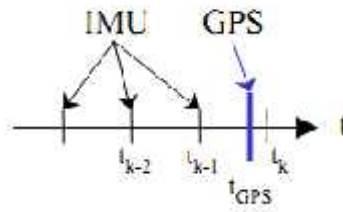
$$\omega(t_k) = \bar{\omega}(t_k) - \delta c_k \tag{3.44}$$

δc_k

3.3.5.

()

(.3.1),



3.1 -

\mathbf{z}_k .

t_{k-1} i t_k , $- t_{GPS}$.

[72]:

$$\begin{aligned}
 r^n(t_{GPS}) &= r^n(t_{k-1}) + \frac{r^n(t_k) - r^n(t_{k-1})}{t_k - t_{k-1}}(t_{GPS} - t_{k-1}); \\
 &= \frac{(t_k - t_{GPS})}{t_k - t_{k-1}} r^n(t_{k-1}) + \frac{(t_{GPS} - t_{k-1})}{t_k - t_{k-1}} r^n(t_k);
 \end{aligned}$$

$$v^n(t_{GPS}) = \frac{(t_k - t_{GPS})}{t_k - t_{k-1}} v^n(t_{k-1}) + \frac{(t_{GPS} - t_{k-1})}{t_k - t_{k-1}} v^n(t_k).$$

[17].

3.4.

-

3.2.3,

MatLab.

NED,

:

45° (

), $g = 9,81 \text{ / } ^2$.

=300

$V = 6,0 \text{ / }$.

$$\psi = \frac{2\pi t}{T}, \quad \theta = 0, \quad \phi = 0,3 \sin(10\psi).$$

σ_o .

σ_a .

$$\sigma_m = 0.0349,$$

$$\sigma_v = 1.$$

100 ,

$$\Delta t = 10^{-2} \text{ c.}$$

:

$$\sigma_\omega = 6 \cdot 10^{-3} \text{ rad/s, } \sigma_a = 2 \cdot 10^{-2} / ^2.$$

· , : 0.1 / , 5 .

q_k, η_k :

$$\bar{q}_k = 10^{-4} \text{diag}\{\alpha_q \mathbf{I}, \beta_q \mathbf{I}, \gamma_q \mathbf{I}\}, \quad \eta_k = \text{diag}\{\alpha_\eta \mathbf{I}_2, \beta_\eta \mathbf{I}, \gamma_\eta \mathbf{I}, 1\}, \quad (3.45)$$

$$\alpha_q = 0.3, \quad \beta_k = 1, \quad \gamma_q = 0.005, \quad \alpha_\eta = 0.0349, \quad \beta_\eta = 0.1, \quad \gamma_\eta = 5, \quad \mathbf{I} -$$

$$3 \times 3, \mathbf{I}_2 - \quad 2 \times 2.$$

, (t=0) , y

$$\frac{VT}{2\pi},$$

$$r_0 = \begin{bmatrix} 0 & \frac{VT}{2\pi} & 0 \end{bmatrix}^T.$$

$$: v_0 = [-V \quad 0 \quad 0]^T.$$

$$\lambda(0) = [1 \quad 0.05 \quad -0.05 \quad 0.05]^T,$$

5°.

$$\varepsilon_r = 0.01 \quad \varepsilon_v = 0.01,$$

(r)

(v)

:

$$r = r_0(1 + \varepsilon_r), \quad v = v_0(1 + \varepsilon_v).$$

m_0

:

$$m_0 = \text{diag}\{\alpha_m \mathbf{I}, \beta_m \mathbf{I}, \gamma_m \mathbf{I}\},$$

$$\alpha_m = 0,02, \quad \beta_m = 1,2, \quad \gamma_m = 57,3$$

I

3×3.

(3.31),

(3.32).

500 .

[0 c, 40 c]

[40 c, 160 c]

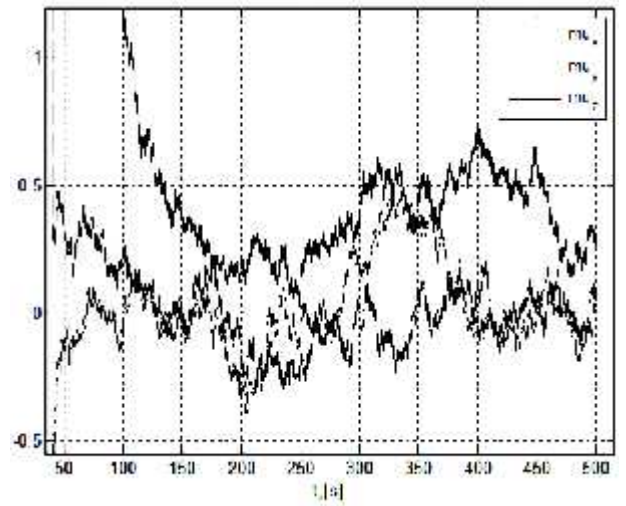
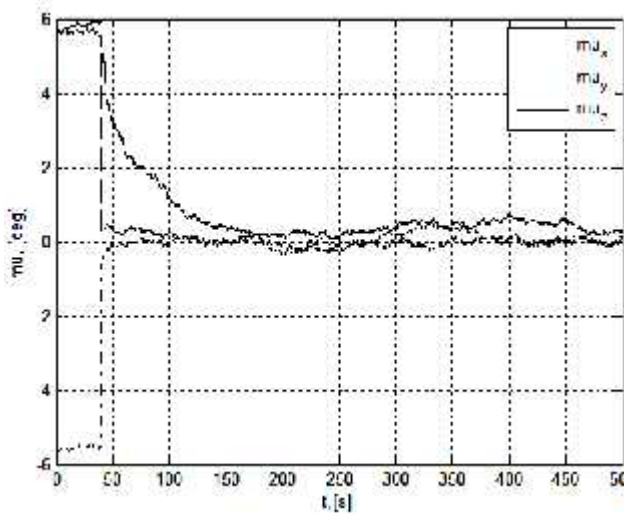
[160 c,

400 c]

[400 c, 500 c]

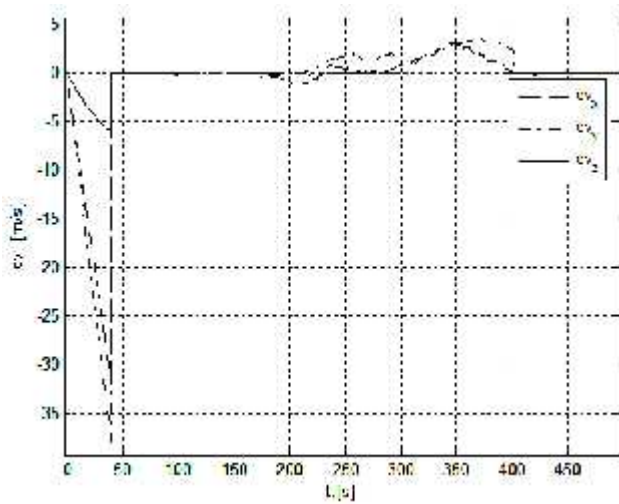
. 3.2 –

3.4.

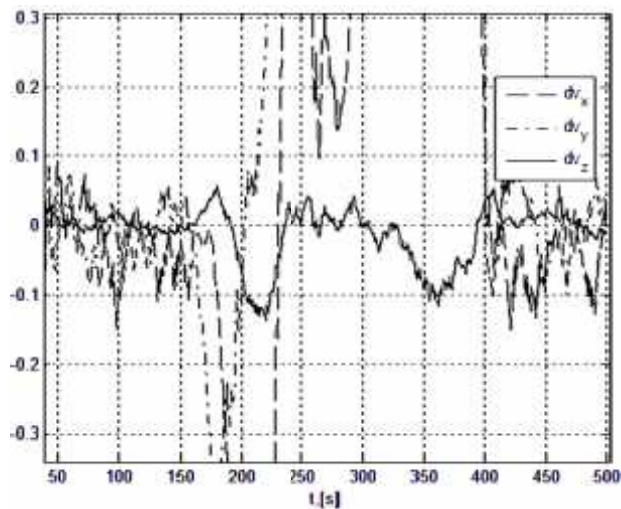


3.2 -

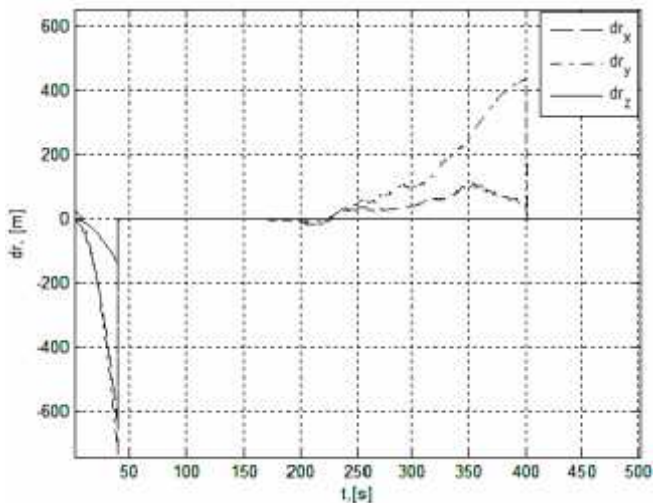
NED:)



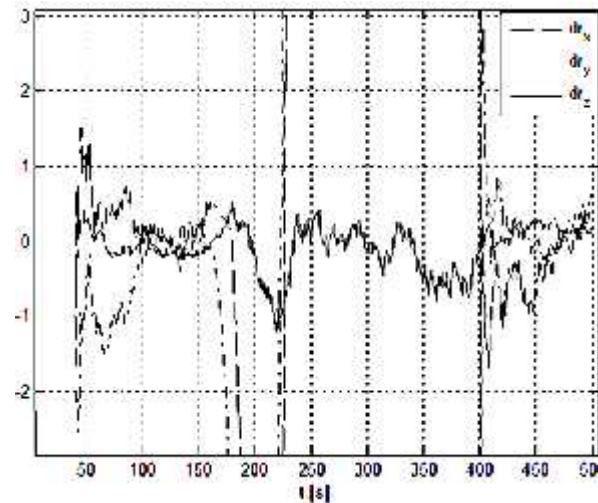
3.3 -
,)



NED:)



3.4 -
,)



NED:)

. 3.2

. 3.3, 3.4 -

μ

$\delta v (/) \quad \delta r ()$.

:

x, - y, - z.

~ 0.5 °, < 1 .

[160 c, 400 c],

(σ_ω),

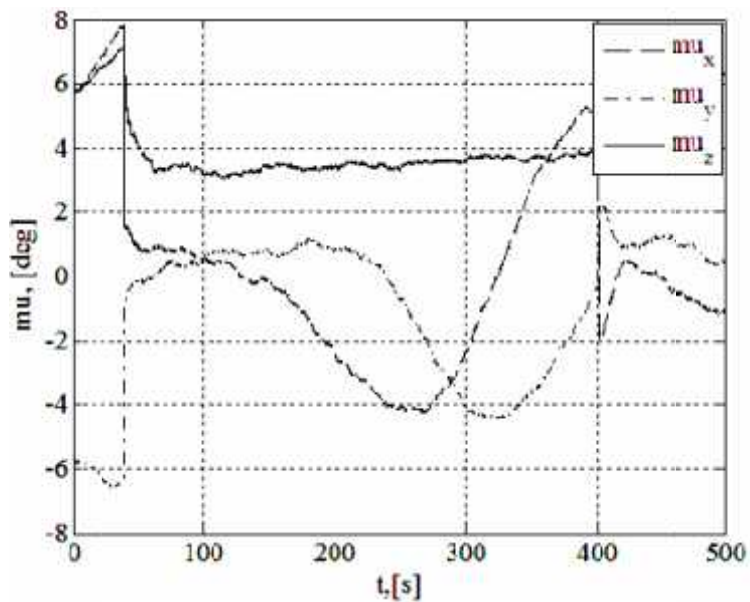
$$\mathbf{n}_g = [\sigma_1 \quad \sigma_2 \quad \sigma_3]^T \quad (3 \times 1).$$

: $\sigma_\omega = 6 \cdot 10^{-3} \text{ rad/s}$, $\sigma_a = 2 \cdot 10^{-2} / ^2$,

$$\mathbf{n}_g = 10^{-4} \cdot [7.5 \quad -8.5 \quad 5.0]^T.$$

q_k, η_k, m_0

. 3.5.



3.5 -

μ

. 3.5

μ

. 3.5,

1°, 4°

« »

3.5°,

1°, (100)

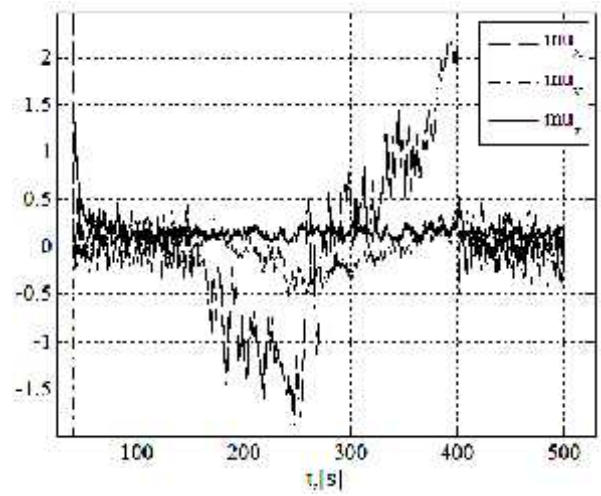
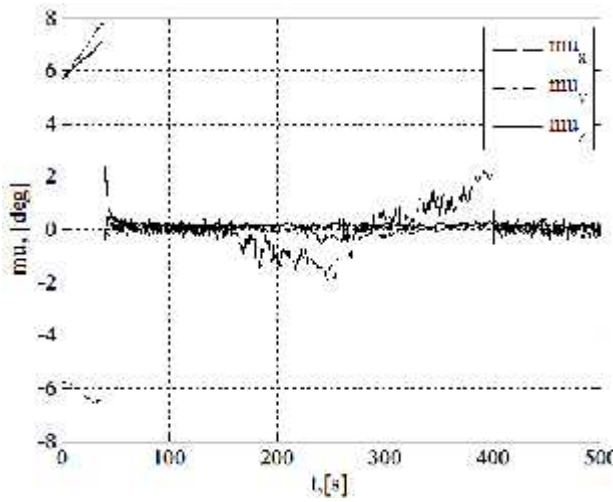
6°.

25

q_k ,

« »

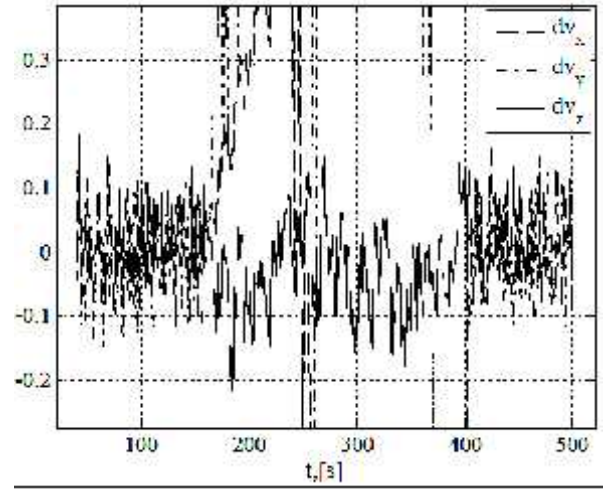
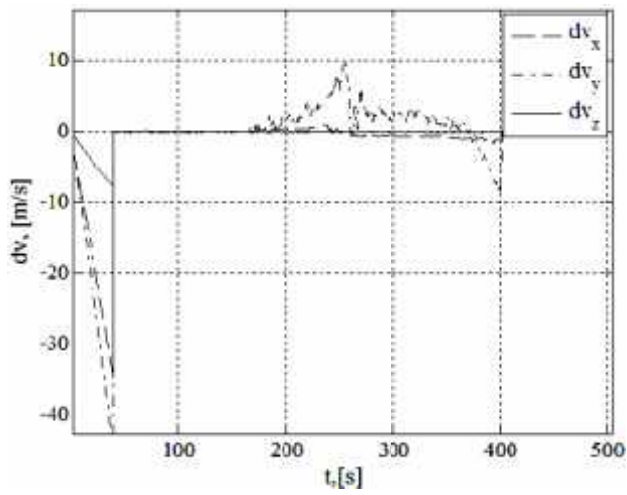
. 3.6 – 3.8.



3.6 -

NED:)

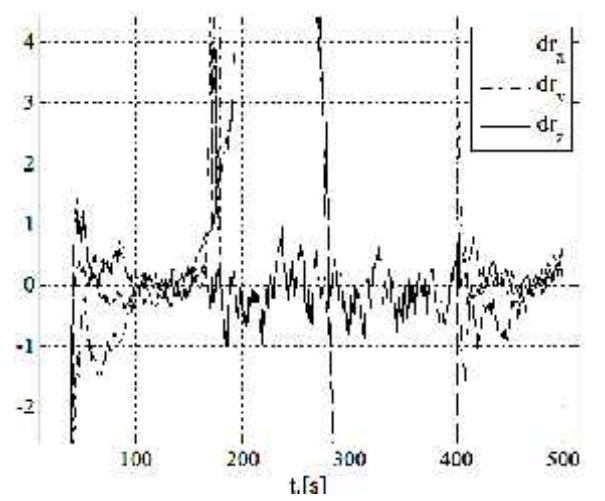
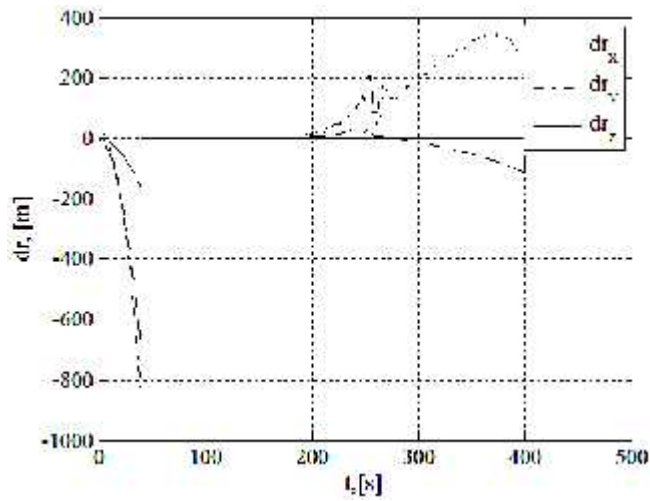
,)



3.7 -

NED:)

,)



3.8 -

NED:)

,)

, « »

2°.

, , . : .

$$\sigma_{\omega} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ rad/s}, n_g = 10^{-4} \cdot [7.5 \quad -8.5 \quad 5.0]^T \text{ rad/s}$$

$$\sigma_a = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}^2, n_a = 10^{-3} \cdot [7.0 \quad 5.0 \quad 6.0]^T \text{ m/s}^2.$$

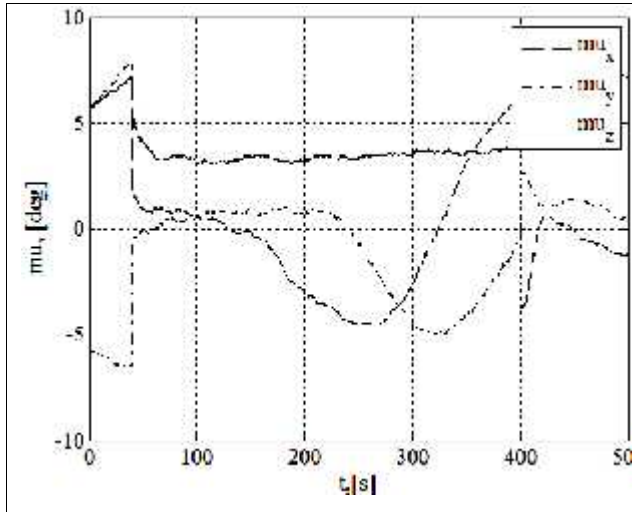
. 3.9 – 3.11

<<

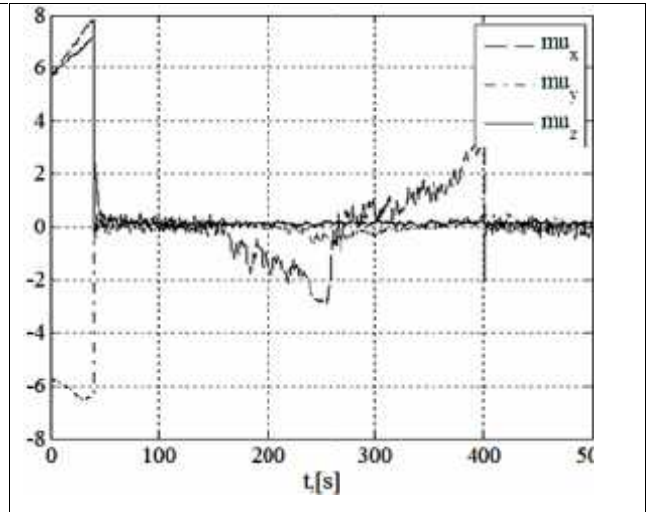
>>

<<

>>

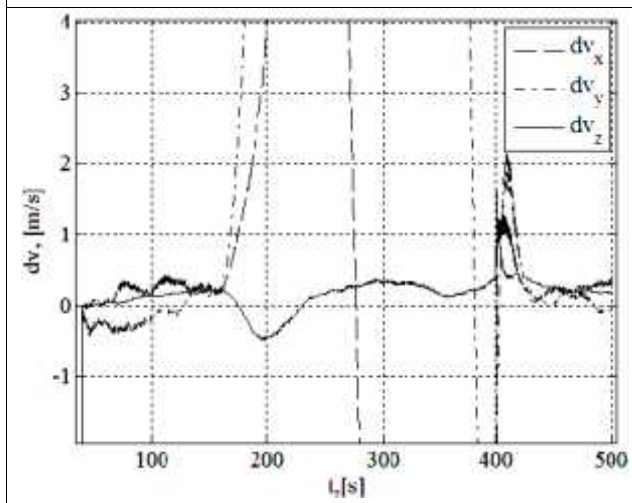


3.9 -

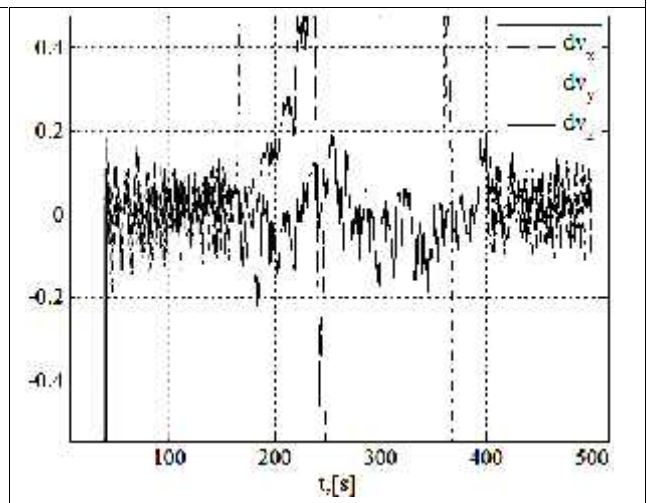


NED:)

,)

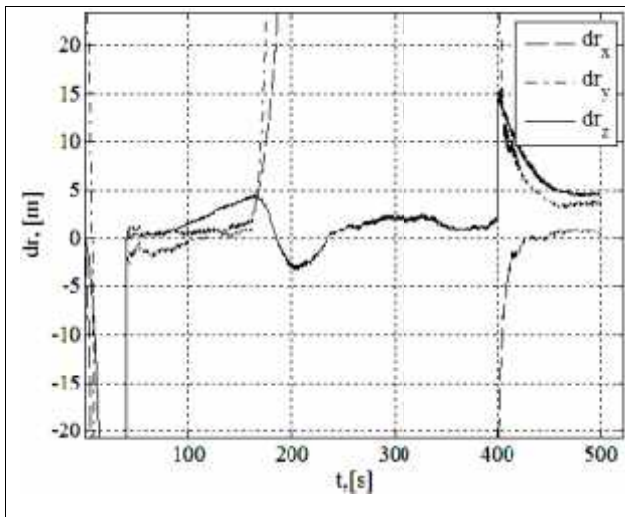


3.10 -

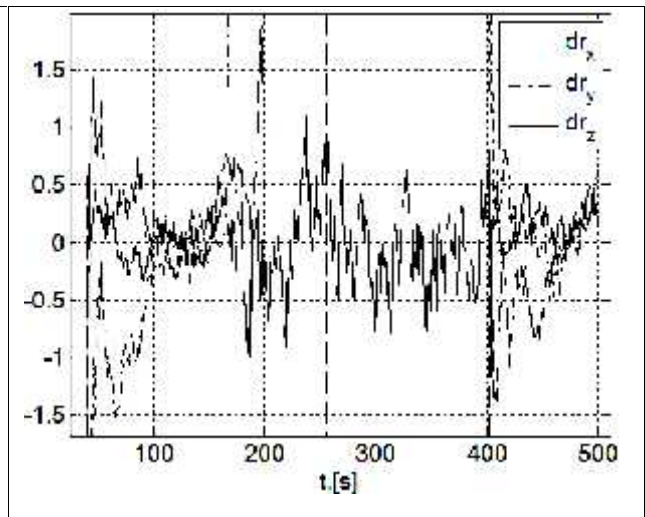


NED:)

,)



3.11 -



NED:)

,)

,

q_k

$(\alpha_q = 0.3, \beta_k = 1, \gamma_q = 0.005).$

25

3

1.

-

Matlab:

2.

10-15

3.2

()

()

(),

()

4.1

()

().

4.1

Фактори	Ступінь поліпшення
Точність	Для ІНС: багаторазово
Маса	Зменшення на 30-70%
Об'єм	Зменшення на 50-60%
Споживана потужність	Зменшення на 25-50%
Надійність	Збільшення \approx у 2 рази
Ступінь резервування	Збільшення на 50 % і більш
Вартість	Зменшення на 30% і більш

()

()

"

" "

"

. :
,
.
, :
,
. ,
, :
,
,
. ,
,
,
,
. ,
, " " " "
ILS MLS,
, GPS,
. ,
GPS, ,
. , GPS
- -
10 21 , ,
Honeywell, Ashtech, " " , ,
, ,
, ,
, ,
, ,
, ,

GPS (NAVSTAR)

GPS,

() GPS,

()

:

;

(,);

;

;

()

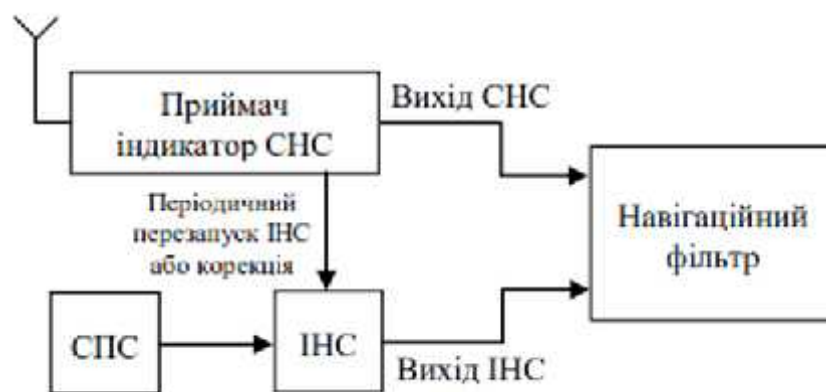
(CAIM – Craft Autonomous Integrity Management)

(RAIM).

() ()
 :
 — ;
 — , ;
 — , ;
 — .

GPS.

— (. 4.1),
 () ().
 ,
 ,
 .
 ().



4.1

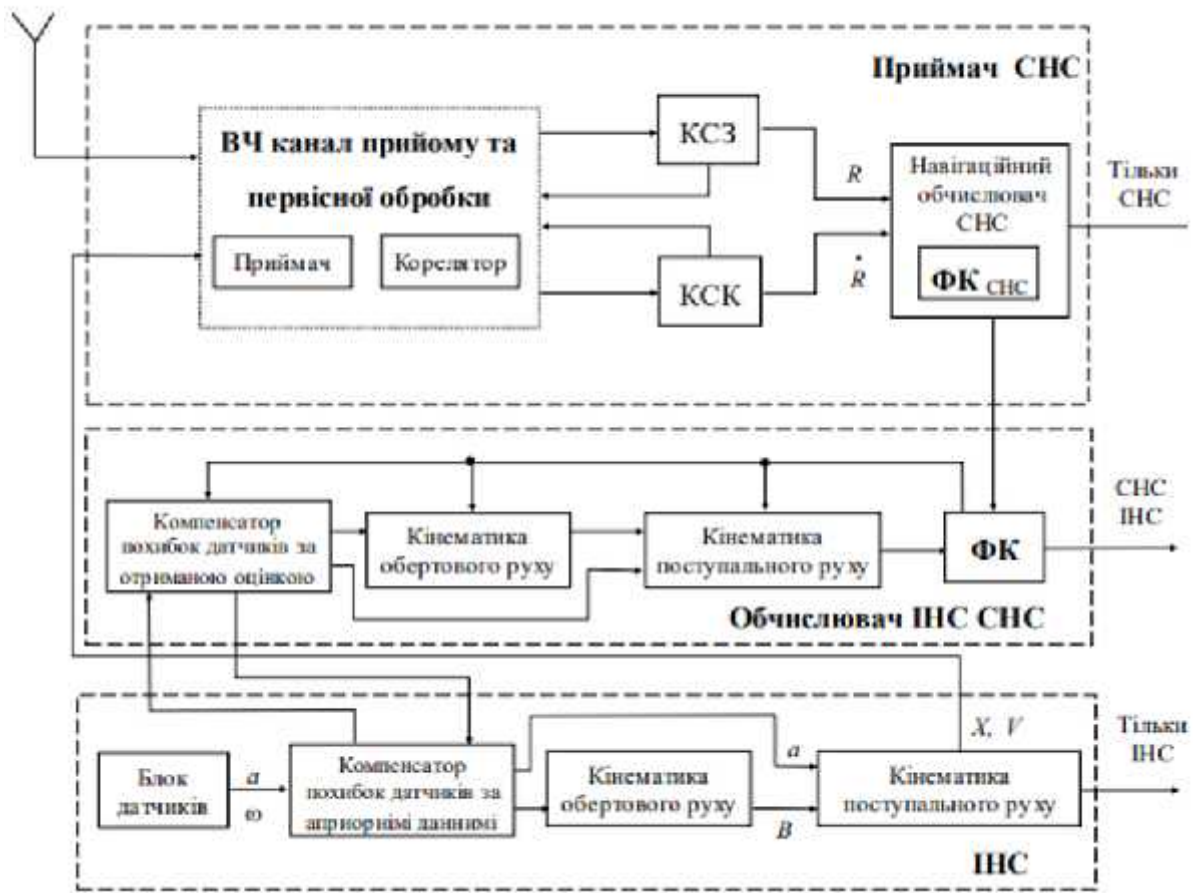
,
 ().

()

(),

()

. (.4.2).



4.2

(4.3).



/
 .
 , /GPS .
 ,
 " " .
 , ,
 " " . ,
 ,
 () .
 () ,
 (. .), .

Тип системи	Основні особливості
Роздільна	Надмірність, обмеженість похибок оцінок місця розташування і швидкості, наявність інформації про орієнтацію і кутову швидкість, висока швидкість видачі інформації, мінімальні зміни в бортовій апаратурі
Слабко зв'язана	Усі перераховані особливості роздільних систем, плюс більш швидке відновлення слідування за кодом і фазою сигналів СНС, виставлення та калібрування БНС у польоті, як наслідок – підвищена точність під час відсутності сигналу СНС
Жорстко зв'язана	Подальше поліпшення точності і калібрування, підвищена стійкість слідування за сигналами СНС при маневрах ЛА, підвищена завадостійкість
Глибоко інтегрована	Достоїнства: єдиний фільтр усуває проблему „каскадного” включення фільтрів, компактність, знижені вимоги з енергозабезпечення. Недоліки: вектор стану містить до 40 компонентів, тому фільтр складно реалізувати; необхідність розробки спеціальних датчиків

—

— ,

.

:

,

,

,

(,);

;

,

,

;

,

,

,

;

—

;

,

,

;

,

,

,

,

;

,

,

,

;

—

;

,

,

,

;

(); —

.

,

,

,

,

.

.

,
 - , .
 (, , , ,)
 , .
 () -
 (, , , ,)
).

5.2

.
 , - ().
 ,
 .
 , ,
 (10),
 220 .
 ,
 .
 ,
 .
 ,
 ,
 .
 ,
 .

()

5.3

12.1.004-91 " "

(,)

()

1000
 (5),
 4 (r = 4).
 200 * .
 0.7...0.8 :

$$R = \frac{0,366 \dots}{l} \left(\lg \left(\frac{2l}{d} \right) + 0,51 \lg \left(\frac{(4H + 1)}{(4H - 1)} \right) \right)$$

де ... - , * ;
 d - , ;
 H - , ;
 l - , .

$d = 0.05$; $l = 5$; $H = 2.5 + 0.8 = 2.3$, :

$$R = \frac{0.366 \cdot 200}{5} \left(\lg \left(\frac{2 \cdot 5}{0.05} \right) + 0.51 \lg \left(\frac{(4 \cdot 3.3 + 1)}{(4 \cdot 3.3 - 1)} \right) \right) = 14.64 (\lg(200) + 0.51 \lg(1.16)) = 36.22$$

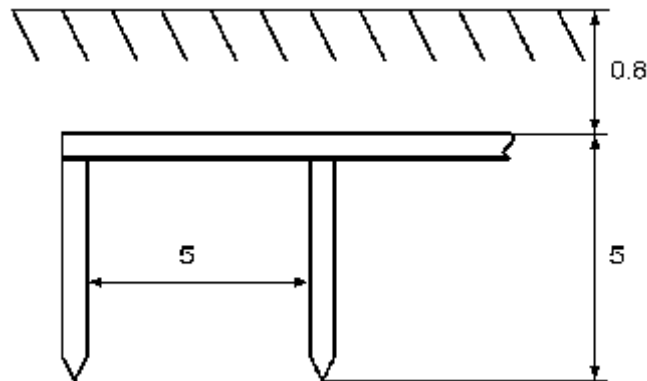
$r = 4$, :

$$n = \frac{R_T}{r} = \frac{36,22}{4} = 9,055 \approx 9$$

$$y = 0,67$$

:

$$y = \frac{R_{CT}}{(r \cdot y)} = \frac{36,22}{(4 \cdot 0,67)} = 13,5$$



$$, \quad n = 14.$$

$$L = 5 \cdot 13 = 70 \quad , \quad b = 0.04 \quad .$$

$$R = 0,366 \left(\frac{\dots}{L} \right) \lg \left(\frac{2L^2}{b \cdot H} \right) = 0,366 \left(\frac{200}{70} \right) \lg \left(\frac{2 \cdot 70^2}{0.04 \cdot 0.8} \right) = 5.74$$

:

$$R = \frac{R_{CT} \cdot R}{(R_{CT} \cdot y + R \cdot y \cdot n)} = \frac{36,22 \cdot 5,74}{(36,22 \cdot 0,37 + 5,74 \cdot 0,67 \cdot 14)} = 3,1$$

$$\text{де } y_{пол} = 0.37.$$

5.4

- ,
 .
 .
 ,
 .
 ,
 ,
 .
 ,
 .
 ,
 .
 ,
 .
 ,
 .
 :

$$F = \frac{S \cdot k \cdot Z}{n \cdot y};$$

E - 400 (11-4-79);
n - ;
y - ;
S - (69²);
k - ,
 ;
Z - (Z = 1,2).

:

$$i = \frac{L \cdot}{\cdot(L +)};$$

$$L, - (8 \times 7);$$

$$- (3,25).$$

:

$$i = \frac{8 \cdot 7}{3,25 \cdot (8 + 7)} = 1,149.$$

$$\dots_c = 0,1,$$

$$(y = 0,51).$$

,

1 /

$$k = 1,5.$$

:

$$n = \frac{\cdot S \cdot k \cdot Z}{F \cdot y} = \frac{400 \cdot 69 \cdot 1,5 \cdot 1,2}{4070 \cdot 0,51} \approx 24.$$

:

$$N = \frac{n}{2} = \frac{24}{2} = 12.$$

12 .

12.1.004-91”

”, - 12.1.010-76” ”.

,

.

(

5470001-84):

-

;

- ;
- ;
-

0.00-1.31-99,

,
(), 12.1.006-84, 12.1.019-79, 12.1.030-
81, 12.1.045-84, , , 59-88, 357-77,
,

,
- .

40 - 50

° ,
11-2-80, -

,
- 2 .

5.5

12.1.010-76 : 12.1.004-91

:

P-

,

.

:

,

.

:

0,75

,

.

:

,

.

:

,

.

:

,

.

:

,

.

:

,

,

.

,

.

5.6

,

,

,

,

.

,

.

,

.

-

,

;

,

;

,

,

;

,

,

(

).

5.1

,

.

.

5.1

(

),

		,
	,	,
	,	() ,
	,	,

	,	,
	-	,
	,	,
	;	-
		;
(,)	,	,
(,)	,	(.),
	,	

		,
(,)	,	;
,	,	,
		:
		,
	- ,	,
(1,1,1- ,)	,	:
,	,	,
,	,	,
,	,	,
,	,	,
.		.
.		.

() ,		:
(, ,)	, ,	; ,
	, ,	,

5.7. I

- .
- .
- .
- :
- .
- , ,
- , .
- :
- .
- ,
- - .
- :
- .
- .
- (,)
- ,)
- .
- .
- .
- :
- .
- :
- , , ,
- .
- .
- :

- .

∴

- .

∴

- , ∴ ,

∴

- .

∴

- ∴

∴

- , ∴

∴

- .

∴

- ∴

∴

- ∴

∴

- ∴

∴

- , ∴

∴

6.

6.1

()

XX

()

. 23. 9 .55 000

							84	113
					- 113M .			

— ,
, , .
.
, , ,
, . . ,
- .
.
, ,
,
(,). , , ,
, ,
.
.
— - ,
;
, , (— , ,
).
"
" 1995
, (),
.
(WHO International EMF Project),
,
,
.

WI-FI, WI-MAX

()

6.2

() ,

, , ' ,

.

,

,

,

,

.

" "

, ,

. ,

,

.

22

, 1,500

240

.

, 10

.

,

,

,

,

, ,

.

-

,

.

,

,

,

.

,

,

-

,

,

.

,

,

,

.

,

-

,

-

-

.

.

-92, -95, -99 MPR-II:

:

,

:

,

.

.

,

,

,

.

,

,

,

.

,

,

,

,

.

.

6.3

,

,

,

.

,

,

,

,

.

,

,

,

.

,

,

,

GSM

.

6.4

«

5»,

« +20»,

2

,
, , , ,
—
.

(),

,
.
2006 .
1 45,5 , 2020 .
275 , .

() 50 ,
,

, (, ,
) . ,
,
500 . , 1,3 300 .
, , — 275 . , 275 . 56,4 .
,

2009 . «Recycling — from E-Waste to
Resources» (—)

, 2020 . ,
 2007 . 200–400 % 500 %
 . , 2020 .
 2007 .
 7 18 . —
 — 3
 2010 ., — 9 .
 (EPA)
 15–20 % ,
 ,
 (,
).
 , 75 % 80
 % , ,
 .
 53,6 , ,
 300 . , 277
 (). 4,5 .
 ,
 — ,
 .
 , , ,
 , ,

, ,
 .
 (, ,)
 ,
 .
 , ,
 3,3 2 , « »
 20 2 400 .
 ,
 40 , 160 , 400 , 260 ,
 , ,
 ,
 .
 , ,
 .
 , ,
 .
 2012 .
 ()
 , ,
 . ,
 .
 2012 .
 (

).

,

.

.

-

,

,

,

.

2008/98/

,

(

,

)

,

,

.

-

.

6.5

6.5.1.

—

,

,

,

,

,

,

;

.

()

,

.

,

,

.

,

,
 .
 ,
 .
 2011 . 26,6 .
 ,
 .
 .
 .
 1991 .
 15
 600 . 25 (3 .)
 .
 .
 — « » .
 ,
 ,
 30 % .
 ,
 (-2010),
 ,
 (2011).
 :
 — 845, — 820,
 — 820, — 2049, — 89 ..
 ,

1. 2005–2011

— 325–834 — 157–310

—164–230 — 2,2–2,8

61–82 — 1,9–2,5

— 270–393

2. 1997–2011

— 28,9–38,4

— 2,9–4,7

— 0,8–5,0 — 1,75–54,9

3. (2007–2010),

(327–0,1),

(570–392),

(0,6–42,3),

(19,5–3,9 .), (3,7–1,6 .).

4. (2007–2010) : —
57,3–54,4 . ., — 75,8–52,7 . .,
— 515,0–214,0 . .,
— 13,4– 10,0 . .

5. 2007– 2010 .
3,1–5,4 . (5
), — 30– 15 . .,
— 71,8–30 . .

6. (2007–2010) ,
: — 2,7–1,7 . ., — 17,5–13,0 . .,
— 5,0–4,5 . ., — 138–1,0 . .,
— 25,6–24,9 . .,
— 19,1–3,2 . ., — 11,0–0,3 . .,
, — 222–193 . ., — 507–
69,3 . . .
200–240 . .,
2 . . ,
2–3 . . , .
, . , 2012 .
() 50

1 — , , , , , , , , ; . — 866,7 . 139,4 . . () . , (,) , , , , . . , . , . ()², , 2000–2010 . : 11,7 18,7 . . ; , DVD- , 2,2 6,97 . . ; 15,8 18,5 . . ; 170 4,25 . . , 170 5,6 . . . 2006 2010

¹ [. — : www.customs.gov.ua

² <http://www.ukrstat.gov.ua> ⁵⁰ [. — : <http://ecopravo.org.ua> [. — :] . — :

170 1020;
2210, 2,55
28,39

2,7– 3,5

«
»
9 6

4
6
—

2011–2012

6.5.2.

Nokia
Nokia -

«³»³.

³

— 1999. — 40 (08.10.99). — .365.

996-XIV 16.07.1999 .//

45
» .

()

(4-10) .

⁴
⁵.12.1995 .//

1639-2009,

6.

»⁷,

8

()
()⁹:

⁷ : 3503-IV 23.02.2006 // — 2006. — 33 (18.08.2006). — .279.

⁸ // : . . . — 2009. — .27. — .501–507.

⁹ : — 2012. — 34. — . « » . : http://archive.nbu.gov.ua/portal/Natural/vcpi/NRvST/2012_34/index.htm

124–130 []. —

Funds).

¹⁰

[. —]

:// , 2012. — : http://archive.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/Npdntu_ekon/2012_41/212.pdf

41. — . 212–217

, , ,
.
, ,
,
(Recycling Fee).
(). ,
,
,
.
, , ,
.

() .
1. , ,
.
(
) ,
() (2002/96/).

-2010
017-98

2.

,

«

» (

«

»).

3.

,

,

,

.

.

4.

.

.

.

,

5.

(),

.

(

,

)

6.

.

,

,

,

7.

;

,

.

8.

,

« »

.

-

, , « » (. 31)

(2010).

()

2020

,

,

,

.

.

,

,

,

,

.

2011–2015 (),

. 119

(

,

).)

,

.

,

,

,

.

2013–2020

,

,

11

,

-

,

,

.

:

:

—

,

,

,

,

.

—

,

:

)

;

)

,

;

)

.

—

¹¹

03.01.2013 .//

```

    .
    '
    '
    '
    '
    -
    '
    .
    '
    '
    -
    '
    .
    '
    '
    ;
    ;
    -
    ;
    ;
    -
    ;

```

Matlab.

```

    .
    ,
    '
    .
    -
    ;

```

1. L. Ryzhkov, "Complementary Filter Design for Attitude Determination", Proceedings of 2019 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), Kyiv, Ukraine, October 16-18, 2018, pp. 214-217.
2. M. Euston, P. Coote, R. Mahony, J. Kim and T. Hamel, "A Complementary Filter for Attitude Estimation of a Fixed Wing UAV," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 22-26 Sept., 2008, pp. 340-345.
3. A. Tunik, K. Rydlo, O.Savchenko, K. Melnik . Computer-Aided Design of the Stability and Controllability Augmentation System. Proc. of Intern. Conf. "Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments" , Kyiv, NAU.-Oct.13-15, 2015.-pp.73-79.
4. A.A.Tunik, S.I.Ilnytska, O.A.Sushchenko. Synthesis of Quadrotor Robust Guidance and Control System via Parameterization of All Stabilizing H-infinity State-Feedback Gains. Electronics and Control Systems.-No.4 (62), 2019.-pp. 33-41.
5. F. A. Aliev and V. B. Larin. Stabilization Problems for a System with Output Feedback (Review). International Applied Mechanics, Vol. 47, No. 3, September, 2011 (Russian Original Vol. 47, No. 3, May, 2011).- pp.225-267.
6. V.B.Larin, A.A.Tunik, Quadrotor Flight Control System Tolerant to Sensor Failures, ," 2019 IEEE 5th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD-2019), October 18-20, 2019, Kyiv, Ukraine. Proceedings, pp. 53-57.
7. O.Sushchenko, Yanovsky Y.Bezkorovainyi, O.Melaschenko Influencing UAV Electric Motors on Magnetic Heading Deviation 2020 IEEE 6th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2020 - Proceedings, p. 166-169.
8. L.Ryzhkov, O.Sushchenko, Approach to Positioning of Target using UAV Equipment 2020 IEEE 6th International Conference Actual Problems of

- Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2020 - Proceedings, p. 73-76.
9. O.Sushchenko, V.Golytsin, O.Salyuk, S.Yehorov, Automated Procedures for Design of Measuring Instruments of Vector Parameters, 2020 IEEE 6th /International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2020 - Proceedings, p. 89-92.
 10. O.Sushchenko, Automated system of stabilization and position control of aviation equipment, Chapter 11 in the book “Automated systems in the Aviation and Aerospace Industries”. – Pennsylvania: IGI Global, 2019. – pp. 297– 330.
 11. O.Sushchenko, Automated system of stabilization and position control of aviation equipment, Chapter 40 in the book “Research Anthology on Reliability and Safety in Aviation Systems, Spacecraft and Air Transport”. – Pennsylvania: IGI Global, 2021. – pp. 995– 1029.
 12. O.Sushchenko, D. Kucherov, A. Kozub, V. Nakonechnyi, Assessing the Operator’s Readiness to Perform Tasks of Controlling by the Unmanned Aerial Platforms, *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 2020, vol. 5, no. 4, pp. 457-462.
 13. V.Azarskov, A.Tunik, O.Sushchenko, Design of Composite Feedback and Feedforward Control Law for Inertially Stabilized Platforms, *International Journal of Aerospace Engineering*, 2020, Volume 2020, Article ID 8853928, 9 p.
 14. Yang Y. Tightly Coupled MEMS INS/GPS Integration with INS Aided Receiver Tracking Loops: PhD thesis / Y. Yang. - Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada, UCGE Report No. 20270. – 2008. – 205 p.
 15. Wang J.J. Integration of GPS, INS and Pseudolite to Geo-reference Surveying and Mapping Systems: PhD thesis / J.J. Wang. – Department of Engineering, School of Surveying & Spatial Information Systems. – University of New South Wales, Australia, 2007. - 177 p.
 16. Chiang K.W. INS/GPS Integration Using Neural Networks for Land Vehicular Navigation Applications: PhD thesis / K.W. Chiang. - Department of Geomatics Engineering. – University of Calgary, Canada, 2004. – 307 p.

17. . . . -
 , / . . . , . . . , . . . , . . .
 , . . . , . . . , . . . , . . . //
 2010.
18. George M. Siouris. Aerospace Avionics Systems: a modern synthesis. Academic Press, Inc., 2007. - 466 p.
19. Grewall M.S. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration / M.S. Grewall, L.P. Weill, A.P. Andrews. - A John Wiley & Sons, Inc. Publ., New York, Chichester, Brisbane, Singapore, Toronto. - 2001. - 392 p.
20. . . . - /
 . . . , . . . , - : - , 2009. -
 272 (306) .
21. . . . , . . .
 - //
 . - « »
22. 2010 - . 32-43.
22. Grewal M.S., Andrews A.P. Kalman Filtering. - Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1993. - 381 p.
23. . . .
 . 1. . -
 : - . . . , 2012. - 46, : .
 629.7.054.071(075.8). 39.57-5
24. . . . - : .
 - .1979.-296 .
 629.7.05
25. . . .
 / . . . , . . . ;
 . - : « « » , 2009. -
 280 .

35.

. .

. -

.2017. 2. ISSN 1997-9256. 621.317.08.