UKRAINE, Ternopil National Ivan Puluj Technical University,

JOINT UKRAINE-CANADIAN ENTERPRISE "INTERNSYS LTD"



The errors sources analysis of the antenna MARK-4B and methods of their minimization by the Antenna control system

Аналіз джерел похибок AC MARK-4В та методи їх мінімізації системою керування

<u>Mykhaylo Palamar</u>, D.Sc. in Technics, Head of Instrumentation Department, <u>palamar.m.i@gmail.com</u> Andriy Chaikovskyi, Asist.-prof., of Instrumentation Department, <u>chaikovskyi@gmail.com</u> Mykhaylo Strembickyi, Asist.-prof., of Instrumentation Department, <u>m.strembitskyy@gmail.com</u> Yuriy Pasternak, Asist. of Instrumentation Department <u>yuriy.pasternak@gmail.com</u> **<u>Aim</u>**: Search Methods and instruments to increase metrological and functional characteristics of the tracking antenna systems (AS), based on the electronic and software ways.

Development of the optoelectronic intelligent angle sensor with built-in functions to detect and compensation of errors occurring in mechanical constructions of support-rotary device AS.

Об'єкт дослідження – процес прецизійного керування наземними антенними комплексами при наявних похибках в конструкції АС.

Предмет дослідження – методи та програмно-апаратні засоби підвищення точності керування антенними системами прийому інформації.

Research objectives :

- 1. Errors source analysis, occurred in pointing Antenna Systems and design methods to reduce them;
- 2. Review of experimental results of angle sensor errors; smart angle sensor design & its error estimation;
- 3.The methodology of the surface investigated on deviations from the reference surface in the point of measuring ;
- 4. Electronic and software ways to incrise the accuracy of tracking AS

AS MARK-4B Radiotelescope RT-32



- The diameter of the main mirror is 32 m, of the counter-reflector is 2.8 m.
- The F / D ratio is approximately 0.35.
- Shading overlapping of the main mirror of the counter-reflector by its supports 2%.
- The standard deviation of the surface shape E / D * (3 σ): $4 \cdot 10^{-5}$
- under normal operating conditions (wind speeds up to 48 km / h -(13.6 m / s) with gusts up to 72 km / h (20 m / s) less
- under extreme conditions (wind speeds up to 72 km / h (20 m / s) with gusts up to 96 km / h (27 m / s) less $6 \cdot 10^{-5}$
- The maximum permissible wind speed is 193 km / h (53 m / s); expansion should be carried out at a wind speed of 129 km / h (36 m / s);
- Weight on an angle axis 121 t, total weight on the rails 243 t;
- Rails diameter 16.97 m; wheels diameter of the cart 900 mm;
- Permissible solar radiation of 1.2 kW / m^2 ;
- Ambient temperature -30 ... + 50 C Relative humidity 0-100%;
- Acceptable: rain 100 mm / h; snow 10 cm / h, 30 cm / day;
- Earthquake Resistance: 8-th Mercalli Modified Intensity Scale; ground tangential acceleration 0,3g;
- Frequency eigenvalue at the rotor slowing 2 Hz.

MAIN EQUATION OF THE PARABOLIC ANTENNA PARAMETERS



Diagram and main equations of the parabolic antenna

ADMISSIBLE DEVIATIONS of the ANTENNA REFLECTOR

The admissible deviation of the antenna reflector surface from the paraboloid must be less then 1 mm.

is determined from the condition of ensuring the in-phase state of excitation of the reflector surface with an accuracy of $\pi/2$.

The admissible deviation of the surface depends on the wavelength λ and should be:

Admissible deflection of the antenna reflector surface and focus displacement for different frequency ranges (must be less then 1 mm)						
Frequency	Frequency Wave Lenght The admissible deviation of antenna reflector					
f _{rxd} ./ f _{txd} , ГГц	$\lambda_{\rm rxd}/\lambda_{\rm txd}$, mm	δ_{max} from the parabolic surface, mm	Displacement from the focus in the axial direction			
L 0,8/1,0	375 / 300	23,4 / 18.75	$\delta_{rshft} \leq \frac{\lambda}{1}$			
S 2,0/2,4	150 / 125	9.0 / 7.8	$4(1-\cos\psi_0)$			
C 4,0/6,0	75 / 50	4.7 / 3.1				
X 8,0-8,4	37.5 / 36	2.34 / 2.25	15 - 20			
K/Ku 12,0/18,0	25 / 17	1,6 / 1.1	5 - 10			
Ka/Q 20,0/30,0	15 / 10	0,9 / 0.6				

$$\delta_{max} \leq \lambda/16.$$

Necessary accuracy pointing of the antenna with various beams is: (tenth (1/10) diagram of width antenna beam on level 3dB, units = angular minutes).

Admissible angles error for pointing of antenna beam (angular minutes) for different frequency ranges provided 1/10 diagram width									
Frequency	quency Wave The diameter of antenna reflector D, m								
\mathbf{f}_{np} ./ \mathbf{f}_{nep} ., ΓΓι	$\lambda_{np}/\lambda_{nep}$,мм	3,0	3,6	5	7	9	12,0	25,0	32,0
L 0,8/1,0	375/300	35,0	28,8	21,1	15,0	11,7	8,75'	4,4'	3,3'
S 2,0/2,4	150/125	18,0	15	10,5	7,5	5,8	4,4'	2,2	1,3'
C 4,0/6,0	75/50	8,8	4,9	5,3	3,8	2,9	2,2'	1,1	0,75' (42")
X 8,0-8,4	30-36	3,5	7,3	2,1'	1,5'	1,17'	0,9'	0,44'	0,35' (22")
K/Ku 12,0/18,0	25/17	2,9'	2,4'	1,8'	1,3'	0,9'	43 sec.	21 sec.	16 sec.
Ka/Q 20,0/30,0	15/10	1,8'	1,46'	1,1'	45 sec.	35 sec.	26 sec.	13 sec.	9,0 sec.

The Accuracy of static and dynamic tracking of satellites or space object (Star) is provided by the antenna control system (ACS).

Since the weight of such antennas ranges from tens hundred of tons, the support-rotary platforms (SRP) has a significant influence on the accuracy of the guidance and the tracking of the trajectory.

Block Diagram of ACS MARK-4B



FUNCTIONAL SCHEME of ACS "MARK-4B"



ANTENNA CONTROL SYSTEMS of AS MARK-4B





MAIN PARAMETE

MAIN PARAMETERS of ACS MARK-4B			
Найменування	Значення параметру	Примітка	
Кількість координат керування	2 шт.		
Діапазон обертання осей АС:			
вість Азимута	±270 град.		
вісь Кута місця	690 град.		
Потужність приводу	2*7 5 rBr		
вість Азимута	$2^{7,5}$ KD1 2*7.5 kBT		
вісь Кута місця	2 7,5 KD1		
Максимальна швидкість наведення			
вісь Азимута	0,7 град./с.		
вісь Кута місця	0,4 град./с.		
Макс. швидкість супроводження			
об`єктів за програмою не менше		.	
по Азимуту	0,6 град./с.	•	
по Куту місця	0,3 град./с.		
Максимальне прискорення			
гальмування руху антени		.	
вісь Азимута	0,3 град./с2.		
вісь Кута місця	0,3 град./с2.		
Характеристика регульованого	- ручне та програмне регулювання частоти		

Максимальне прискорення гальмування руху антени зісь Азимута зісь Кута місця	0,3 град./с2. 0,3 град./с2.			
Характеристика регульованого електроприводу	 ручне та програмне регулювання частоти обертання двигуна; програмований час розгону та плавного гальмування; швидка зупинка двигуна при екстерній зупинці АС; управління гальмами двигунів. 			
Кивлення системи керування	380 ±10% трьохфазна мережа			
Споживання електроенергії	40 кBт			
Маса блоків керування (без маси Івигунів і трансформатора 380/220)	30 кг			

The total errors for electrical axis pointing AS consist the following groups:

- **1. Methodical, astronomical** from inaccuracy coordinates determination ()
- 2. Instrumental: angle measurement, influences of mechanisms angle sensors fastening,

Support-Rotary-Device-constructions influences, influence of the reflector construction. Behavior of them is unchangeable during a large period of time or changes according to the certain law.

Features of the object and structure of the control system: The most significant sources of errors in control system is:

- the moments of inertia of modules vary from the angles of the reflector and the ratio of positions of the antenna modules for different axes,

- change in stiffness of mechanical gear
- changes in friction resistance,
- backlash
- Instability characteristics of electric drives,
- stochastic influence of wind loads, etc.

Such dynamic systems as management objects have a nonlinear character

The error reducing methods based of constructive ways are complicate mechanical parts of SRD and lead to increase costs for their projecting, adjustment and maintenance. Деформація конструкцій антени під впливом: гравітаційних сил при різних кутах місця – приводить до зміщеня осі променя АС;

- Відхилення вертикальної осі;
- Неперпендикулярність осей;
- Деформація рефлектора від ваги на різних кутах нахилу;

Похибки кріплення кутового сенсора: перекоси, неспіввіснсть осей сенсора і антени, гістерезис перехідної муфти;

Люфти у виконавчих механізмах силових приводів шестернях;

Вплив вітрового навантаження при постійній швидкості вітру або при поривах вітру;

Деформації від неоднорідного розігріву сонячним випромінюванням;

Зміни навантаження при обмерзанні, інерції при прискореннях. Вплив кліматичних факторів на координати наведення.

ANTENNA CONTROL METHODS and DEVICES OVERREVIEW

An important element of Antenna control system is an executive electric drive of high power, which should provide a wide dynamic range of adjustment with high accuracy and stable point.

At the existing antenna systems (AS) precision control of power devices is provided by the use of **synchronous DC motors, special types of brushless DC (BLDC) engines or valve motors (Servo Drivers)**

Induction motors (IM) in squirrel cage, or asynchronous drive (AD), widely used at the industry, have a number of advantages compared with other types of drives.

However, induction motors inherently are not designed for speed control over a wide range without loss of torque and is used mainly in tasks that require constant rotational speed or slightly its regulation.

IM with frequency control are used in many technological processes, but there is no research on the possibility of their use in precision systems for pointing and tracking of LEO satellites for the ERS.

The use of IM in conjunction with frequency control devices in precision control systems of AS is a promising solution and will allow to reduce the cost of the AS and increase their reliability.

ACS must improve of the antenna accuracy guidance and tracking by using schematic and software-algorithmic methods;

- Improving of the accuracy and reliability of the antenna angular position determining ;
- The extending of azimuth angles range (up to /- 270 degrees)
- Mechanics disadvantages compensation (SRD, deformation, etc.) by electronic and algorithmic methods, adaptability to changes in mechanics, robustness;
- Adaptation to SRD and electric drives (modular hardware and algorithmic);
- Functionality extension, AS intellectualization: automatic execution of most operators functions : forecast of trajectories of CO in the observation area, guidance tables calculation, synchronization of time with GPS / UTC / UT1, search of the max. signal mode, self-diagnosis;
- CS cost reduction due to the modern element base.
- It is necessary to develop both schematic and software-algorithmic methods in ACS.

Measuring Elevation axis RT-32. Вимірювання квадрантом (30") з контролем тахеометром (2") 26.05.2020





Errors of influence of mismatch of the angular sensor fastening 16



Графік похибки Приладовий редуктор перезібрали. Оптичний давач перемістил на місце СКВТ

Коефіцієнт множення тепер 900/19. Зубчасті колеса з люфтовибіркою



Elevation Axis Meas RT-32. The hysteresis of the coupling is about 0.5 angle min (30 ")



Поправили кріплення сильфонної муфти. Зауважили неспіввісність осей антени та приладового редуктора.

Четверте вимірювання 29.05.2020 Поправили кріплення сильфонної муфти. Через неспіввісність валів муфта деформується при опусканні дзеркала до горизонту





Backlash / hysteresis. Insufficient rigidity of the bellows coupling is possible



The STRUCTURE of SMART ANGLE SENSOR

We have design optoelectronic sensor of absolute angular position able to determine and **compensate errors caused by technological reasons of manufacturing, as well as constructive-technological factors occurring at connection of sensor shaft with AS axis.**

The method of determination of code disk axis deviations was patented.



Disadvantages of the given angle determination methods are measurement errors caused by deviations of the code disk axis which in its turn can be resulted by eccentricity of the code disk, and also: •Inaccurate setting or offset code disk,

• Bearings wear;

• influence of joint mechanisms of shafts and connections between the sensor and antenna axis.

PRINCIPLE FOR DETERMINING THE ANGLE IN SMART SENSORS



- disc turn angle relatively to the reference point;

 $\alpha_1 \dots \alpha_4$ - angles from the start of zero sector (disc reference point) to the sectors boundaries that are projected onto the centers of both sensor arrays (fig.3);

 $b_1 \dots b_4$ - linear deviations of sector boundaries relatively to the center of corresponding sensor array. Code disc axis shift Δx along sensor array axes can be determined by formula:

RESEARCH of SENSOR ACCURACY





Stand verification on the basis of sensor ROD 800 (BAT "Fiolent")







USING SENSORS in ACS



Angle sensors operated as a measuring indicator of antenna systems "Wityaz-7m" τa "Quasar + 7.6" with reflector diameter 7m"

Results of the research sensor errors together with the ACS & AS

0	つ
\boldsymbol{L}	

	Заданий кут наведення	Покази сенсора по азимуту (α _{ас)}	Покази теодоліта по азимуту (α _{т)}	Похибка	Похибка 🗛
	100,0000	100,0028	100,0086	-0,0058	-0,0086
	130,0000	130,0067	129,9819	0,0181	0,0208
	160,0000	159,9939	160,0089	-0,0150	0,0061
	190,0000	190,0083	190,0031	0,0053	-0,0031
Динамічна похибка супроводу АС — Ряд	,0000	220,0122	220,0086	0,0036	-0,0122
MM. Ely service management of the service of the se),0000	249,9994	250,0050	-0,0056	0,0006
),0000	279,9986	280,0178	-0,0192	0,0247
	15 P1 7 2P9),0000	310,0122	310,0067	0,0067	-0,0122
),0000	339,9994	340,0158	-0,0164	0,0006
₋₅ Час, сек.	,0000	10,0142	10,0031	0,0111	-0,0142
	40,0000	40,0006	39,9847	0,0158	-0,0011
	70,0000	70,0103	70,0019	0,0083	-0,0103
0.025	Сенс-теодоліт),0181	100,0086	0,0100	-0,0086
0.02	Наведення	0,0042	130,0178	-0,0136	-0,0067
0.01		9,9939	160,0103	-0,0164	0,0061
0.005		0,0031	190,0114	-0.0086	-0,0031
-0.005		0,0069	210,0036	0,0033	-0,0036
-0.015		0,0072	240,0006	0,0067	-0,0072
		0,0111	270,0194	-0,0083	0
··· 11 12 13 1	4 15 16 17 18 19	нс-теодоліт			

Method of backlash compensates in gears of reducers Used 3-mass model of ACS against 2-mass model



Method of backlash compensates in gears of reducers





V





The compensation of errors method in the mechanical design of the antenna



The method is based on measuring deviations with an inclinometer and introducing guidance corrections.

$$N_{0} = \begin{bmatrix} 1\\0\\0 \end{bmatrix} \text{ i } N = T_{\varphi} T_{\sigma} T_{\gamma} N_{0}, \qquad T_{\varphi} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0\\0 & \cos \varphi & -\sin \varphi\\0 & \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix}$$

$$\delta = \cos^{-1} (\overrightarrow{N_{0}}, \overrightarrow{N}), \qquad T_{\varphi} = \begin{bmatrix} \cos \sigma & 0 & -\sin \sigma\\0 & 1 & 0\\\sin \sigma & 0 & \cos \sigma \end{bmatrix}, \qquad (\overrightarrow{N_{0}}, \overrightarrow{N}) = N_{0x} N_{x} + N_{0y} N_{y} + N_{0z} N_{z}. \qquad T_{\gamma} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0\\\sin \gamma & \cos \gamma & 0\\0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

АС на мобільній платформі «Земля-Х»

25

Матриця повороту навколо довільної осі

$$M(v,\theta) \coloneqq \begin{bmatrix} \cos(\theta) + (1 - \cos(\theta)) \cdot (v_x)^2 & (1 - \cos(\theta)) \cdot v_x \cdot v_y - \sin(\theta) \cdot v_z & (1 - \cos(\theta)) \cdot v_x \cdot v_z + \sin(\theta) \cdot v_y \\ (1 - \cos(\theta)) \cdot v_y \cdot v_x + \sin(\theta) \cdot v_z & \cos(\theta) + (1 - \cos(\theta)) \cdot (v_y)^2 & (1 - \cos(\theta)) \cdot v_y \cdot v_z - \sin(\theta) \cdot v_x \\ (1 - \cos(\theta)) \cdot v_z \cdot v_x - \sin(\theta) \cdot v_y & (1 - \cos(\theta)) \cdot v_z \cdot v_y + \sin(\theta) \cdot v_x & \cos(\theta) + (1 - \cos(\theta)) \cdot (v_z)^2 \end{bmatrix}$$

Результати досліджень компенсації від похибок в конструкції САК АС



Вікно вводу даних інклінометра. Неперпендикулярність 1° Нахил 1° Азимут нахилу 344,4





Результати прийому сигналу з КА ScyNet 5C без врахування алгоритму корегування нахилу платформи і з.. Різниця в рівні сигналу біля 7 дБ

Estimation of the deviation surface of antenna reflector by scanning of the Tacheometer

27



"of known signal sources coordinates.

BUILD CORRECTION MATRIX BASED ON KNOWN SIGNAL SOURCES TO ADJUST OF POINTING COORDINATES



"Error matrix": a matrix for adjusting the coordinates of the antenna by the using of known signal sources coordinates.

The method eliminates the set of errors sources: angular sensors, couplings, mechanical components, such as deviations in the design of the SRD AS and, most importantly, the effect of deformation of the reflector from its own weight at different angles

Advantages of ACS using ANN

The use of ANC allows us to adaptively adjust the parameters of the ACS taking into account the peculiarities of the mechanical structures of the SRD (Support-Rotary Device) AS without detailed bulky calculations of the parameters of the actuators, and on the previously prepared training test trajectories of the AS.

- Precise mathematical models of the control object do not need to be used in the control circuit;
- ANC can be effectively trained in adjusting dynamic objects with variable parameters;
- It is important for ANCs to choose an effective topology and training sequences that fully cover possible system behaviors;
- For control actions, it is efficient to use recurrent SNMs, particulary it is researched and substantiated the usage of Elman ANC with additional feedback, which increases the ANC's training capacity;
- It is rationaled the studying ANC trainings by gradient method (Fletcher-Reeves algorithm variant).
- The behavior of a control system with a neurocontroller in the mode of testing input trajectories with random perturbations is investigated.

МОДИФІКОВАНА РЕКУРЕНТНА ШНМ ЕЛМАНА



Стан нейронів рекурентного шару

$$\begin{cases} \mathbf{n}^{1}(k) = \mathbf{L}\mathbf{W}^{11}\mathbf{a}^{1}(k-1) + \mathbf{I}\mathbf{W}^{11}\mathbf{p} + \mathbf{b}^{1}, \ \mathbf{a}^{1}(0) = \mathbf{a}_{0}^{1}; \\ \mathbf{a}^{1}(k) = tansig(\mathbf{n}^{1}(k)), \end{cases}$$

- де п виходи суматорів нейронів відповідного шару;
- **а** виходи нейронів після функції активації у *k-й* ітерації;
- р вектор вхідного сигналу;
- **b** вектор зміщень, що додаються до зважених входів нейронів.
- IW, LW матриці синаптичних ваг, що налаштовуються під час навчання

$$\begin{cases} \mathbf{n}^{2}(k) = \mathbf{L}\mathbf{W}^{21}\mathbf{a}^{1}(k) + \mathbf{b}^{2}; \\ \mathbf{a}^{2}(k) = purelin(\mathbf{n}^{2}(k)). \end{cases}$$
Вихідн

Зихідний шар ШНМ

Використання зовнішніх зворотних зв'язків дозволяє зменшити вимоги до кількості нейронів внутрішнього шару ШНМ, детальніше враховувати передісторію процесів поведінки об'єкта і накопичувати інформацію для вироблення ефективніших керуючих дій



Структурна модель ШНМ Елмана із зовнішніми зворотними зв'язками

СИНТЕЗ МОДЕЛІ ШНМ ЕЛМАНА в MatLab/Simulink

31

<2101x3 double:

<2101x3 double:

<21x2 double>

<21x2 double>

<82x2 double>

<82x2 double>

<2101x2 double:

<2101x2 double>

<1260008x1 double>

<1x1 network>

0.0695

550

510

-2.29... 21

-1.20... 21

20

20

550 550

405

405

0.0695 0.0695

0

510 510

-0.2558 21

-0.3673 21

<Too ... <Too .

O.

angle_az

angle_el

auto_el

error_az

error_el

🐑 net_Elmar

tout

cor_tr_az_THA57

cor tr el THA57

chopa

chopo

ans auto_az

>>

En

>>

>>

 $f_{x} >> \checkmark$

KS

📣 Start



50 100 150 200 250 300 350 400 450

net_Elman.trainParam.goal=1e-12; %граничне значення критерію навчання

2. Навчання ШНМ (Дані для навчання беруться з MatLab/WorkSpace)

net_Elman=train(net_Elman,[auto_az(:,2)'/10;auto_el(:,2)'/10],[auto_az(:,2)';auto_az(:,2)']); (net_Elman=train(net_Elman,[sin (:,2)'/5; sin (:,2)'/5],[cos (:,2)'/5; cos (:,2)'/5))

3. Створення компоненту ШНМ для Simulink



Навчання ШНМ = пошук мінімуму функціоналу помилки на основі спряження градієнтів.

алгоритм Флетчера-Рівса:

Йому властива добра обчислювальна збіжність: для додатньо визначеної квадратичної функції від **n** змінних мінімум досягається не більше ніж через **n** кроків



а) 12 нейронів



b) 15 нейронів



 $\{x_k\}$

Стратегія методу = побудова послідовності точок k=0, 1, 2,...таких,

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + a_k \mathbf{p}_k \qquad \qquad f(x_{k+1}) < f(x_k)$$

 ${f X}_{k+1}$ – нове значення вектора параметрів налаштування;

 \mathbf{X}_{k} – вектор значень параметрів на k-й ітерації;

$$a_k$$
 – параметр швидкості навчання

$$\mathbf{p}_k = -\mathbf{g}_k + \beta_k \mathbf{p}_{k-1} \qquad \mathbf{g}_k = -\nabla f(\mathbf{x}^k)$$

константа, визначається як

 $\left\| \mathbf{X}_{k} \right\| < \varepsilon$

Графік пошуку мінімуму функції



 $\beta_k = \frac{\mathbf{g}_k^T \cdot \mathbf{g}_k}{\mathbf{g}_k^T \cdot \mathbf{g}_k}$

 В початковий момент часу t=1 всі нейрони прихованого шару встановлено в нульове положення – вихідне значення рівне нулю.
 Подаємо вхідні дані на вхід мережі, де відбувається пряме поширення його в ШНМ.

3. Робимо ітерацію за алгоритмом Флетчера-Рівса. У порівнянні з алгоритмом градієнтного спуску, він регулює швидкість збіжності не лише за рахунок налаштування параметра швидкості, але й коректує розмір кроку на кожній ітерації встановленого значення помилки. Тому досягається мінімальна кількість ітерацій.

4. Встановлюємо t=t+1 і здійснюємо перехід на 2 крок.

Навчання НМ виконується до тих пір доки сумарна середньоквадратична похибка мережі досягне заданого мінімуму.

Порівняння роботи ШНМ і ПІД-регулятора при зміні динамічних параметрів об'єкту



розбалансування: криві 1,2 – налаштований ПІД- регулятор з Ts = 1 та Ts = 2; криві 3,4 – модифікована НМ Елмана з Ts = 1 та Ts = 2













SOFA – Standards Of Fundamental Astronomy



Comparison of legacy algorithm and SOFA



Effect of temperature on the refraction



Effect of humidity on the refraction



Effect of air pressure on the refraction



Effect of the Earth attitude and rotation

- UT1-UTC is less than 1s and affects observed coordinates for less than 15"
- Effect of polar motion xp, yp is less than 1"

The software-algorithmic methods and electronic desicions in ACS can improve of the antenna accuracy guidance and tracking;

The pointing accuracy of the antenna at space sources reaches 20-30 angular seconds

Electronic and program-algorithmic methods to improve the accuracy of mechatronic systems are much more effective compared to structurally-technological methods: •versatile,

- •don't require high material spending,
- •increase functional abilities of systems in general.

The report is finished

THANK YOU for your attention!



UKRAINE Ternopil, Ruska str., 56

http://tntu.edu.ua/ kaf-pv.tntu.edu.ua http://tntu.edu.ua/?p=uk/struct ure/research/labs/ndl-itis



Структурна схема станції управління та прийому даних ДЗЗ НСУПД-2



20

Additional requirements for functionality of precise control system

• Angle sensor should provide **absolute angle counting** with binding to global coordinates with accuracy ≤ 1 min. (must be displayed immediately after power-on). Incremental sensors with relative readout aren't suitable (require a lot of time on alignment procedure. It also complicated the structural limitations in the SRP.

- Wide range of angle positions measurement, especially in AS for ERS: $\pm 270^{\circ}$;
- Data transmission over long distances in digital format;
- High reliability and simple interaction with Antenna control system. Self-Diagnosis sensors and control systems; Smart functions detection of failures;

• Simplicity of AS initial configuration and installation of global coordinates with high precision (≤ 1 angle minute).

In general (Summarizing of previous):

Electronic and program-algorithmic methods to improve the accuracy of mechatronic systems are much more effective compared to structurally-technological methods:

•versatile,

- don't require high material spending,
- •increase functional abilities of systems in general.

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВІТРУ НА РОБОТУ СК АС



a - аеродинамічний коефіцієнт моменту, залежить від геометричної форми дзеркала та кута атаки



Рельєф моментів вітрового навантаження в площині кута місця і азимута



Залежність знач. аеродинамічного коефіцієнта *a* від положення антени по азимуту і КМ



Графік похибки наведення від впливу вітру