

ДОДАТОК А Відомість атестаційної роботи

№ рядка	Позначення	Найменування	Примітка
		Текстові документи	
1	ГЮІК 434831.000 ПЗ	Пояснювальна записка	74 с.
2	ГЮІК 434831.000 Д	Презентація	9 с.
		ГЮІК 434831.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис
Розроб.		Мясоєд	
Перев.		Грицунов	
Н. контр.		Шевченко	
Затв.		Бондаренко	
Застосування адаптивних алгоритмів спектрального аналізу для підвищення роздільної здатності низькочастотного радіотелескопу			
Відомість атестаційної роботи			
Літ.	Аркуш	Аркушів	
У	1	1	
ХНУРЕ Кафедра МЕЕПП			

ДОДАТОК Б Програма для спектрального аналізу одновимірних вибірок

```

module Constants
  complex (kind=8), parameter :: Imag1 = (0.0D+00,1.0D+00)
  real (kind=8), parameter :: Pi = 3.141592653589793D+00
  real (kind=8), parameter :: Pi2 = 6.283185307179586D+00
end module Constants

module Global_Data
  complex (kind=8) :: A (1:170)      ! complex amplitudes
  complex (kind=8) :: B (1:85)      ! polynomial factors
  integer (kind=4) :: L              ! sample length (L)
  integer (kind=4) :: M              ! model order (M)
  complex (kind=8) :: Z (1:170)     ! polynomial zeros
end module Global_Data

integer (kind=4) function Number_Of_Harmonics ( SSize, F )
  use Constants
  use Global_Data
  use IMSL
  integer (kind=4), intent(in) :: SSize      ! sample size
  complex (kind=8), intent(in) :: F (0:SSize-1) ! analyzed sample (f)
  integer (kind=4) :: Count                 ! counter of integrated zeros
  real (kind=8) :: Freq1                    ! harmonic frequency 1
  real (kind=8) :: Freq2                    ! harmonic frequency 2
  integer (kind=4) :: Limit                  ! for Shell's sort
  integer (kind=4) :: Ll                     ! sample index (l)
  integer (kind=4) :: Mm                     ! order index (m)
  integer (kind=4) :: Mm1                    ! order index (alternative)
  integer (kind=4) :: Offset                 ! for Shell's sort
  integer (kind=4) :: Switch                 ! for Shell's sort
  complex (kind=8) :: TempC                  ! temporary complex scalar
  complex (kind=8), allocatable :: TempCV (:) ! temporary complex vector
  complex (kind=8), allocatable :: TempCM (:,:) ! temporary complex matrix
  real (kind=8), allocatable :: TempRV1 (:)  ! temporary real vector 1
  real (kind=8), allocatable :: TempRV2 (:)  ! temporary real vector 2
  real (kind=8), allocatable :: TempRM (:,:) ! temporary real matrix
  real (kind=8), parameter :: Near = 1.0D-07 ! multiple zero criterion
!--Procedure initialization:
  if ( SSize < 3 ) then
    print *, 'Error: too short series...'
    Number_Of_Harmonics = 0      ! error
    return
  end if
  M = min ( (SSize/3)*2, 170 )   ! model order
  L = 3*M/2                       ! usable sample length
!--Solving of the linear equations system for characteristic polynomial factors:
  allocate ( TempRV1(0:M-1), TempRV2(1:M), TempRM(0:M-1,1:M) )
  do Ll = M/2, L-M/2-1
    TempRV1(Ll-M/2) = - real(F(Ll))
    TempRV1(Ll) = - imag(F(Ll))
    do Mm = 1, M/2
      TempRM(Ll-M/2,Mm) = real(F(Ll+Mm)) + real(F(Ll-Mm))
      TempRM(Ll-M/2,M/2+Mm) = -imag(F(Ll+Mm)) + imag(F(Ll-Mm))
      TempRM(Ll,Mm) = imag(F(Ll+Mm)) + imag(F(Ll-Mm))
      TempRM(Ll,M/2+Mm) = real(F(Ll+Mm)) - real(F(Ll-Mm))
    end do
  end do
  call DLSLRG ( N=M, A=TempRM, B=TempRV1, X=TempRV2, LDA=M, IPath=1 )
  B(1:M/2) = cmplx ( TempRV2(1:M/2), TempRV2(M/2+1:M), 8 )
  deallocate ( TempRV1, TempRV2, TempRM )
!--Factorization of the characteristic polynomial:
  allocate ( TempCV(0:M) )
  TempCV(M/2+1:M+1) = B(1:M/2)
  TempCV(M/2) = (1.0D+00,0.0D+00)
  TempCV(M/2-1:0:-1) = conjg(B(1:M/2))
  call DZPOCC ( NDeg=M, Coeff=TempCV, Root=Z )
  deallocate ( TempCV )
!--Normalization of polynomial zeros:
  Z = Z / abs(Z)
!--Shell's sort of polynomial zeros:
  Offset = M/2
  do while ( Offset > 0 )

```

```

Limit = M - Offset
Switch = 1
do while ( Switch > 0 )
  Switch = 0
  do Mm = 1, Limit
    Freq1 = atan2 ( imag(Z(Mm)), real(Z(Mm)) ) / Pi2
    Freq2 = atan2 ( imag(Z(Mm+Offset)), real(Z(Mm+Offset)) ) / Pi2
    if ( Freq1 > Freq2 ) then
      TempC = Z(Mm)
      Z(Mm) = Z(Mm+Offset)
      Z(Mm+Offset) = TempC
      Switch = Mm
    end if
  end do
  Limit = Switch - Offset
end do
Offset = Offset / 2
end do
!--Elimination of multiple zeros:
Count = 1
Mm = 2
do while ( Mm <= M )
  Freq1 = atan2 ( imag(Z(Mm-1)), real(Z(Mm-1)) ) / Pi2
  Freq2 = atan2 ( imag(Z(Mm)), real(Z(Mm)) ) / Pi2
  if ( Freq2-Freq1 > Near ) then
    Count = 1
    Mm = Mm + 1
  else
    Z(Mm-1) = ( Z(Mm-1)*Count + Z(Mm) ) / (Count+1)
    do Mm1 = Mm, M-1
      Z(Mm1) = Z(Mm1+1)
    end do
    Count = Count + 1
    M = M - 1
    ! new model order
  end if
end do
Freq1 = atan2 ( imag(Z(1)), real(Z(1)) ) / Pi2
Freq2 = atan2 ( imag(Z(M)), real(Z(M)) ) / Pi2
if ( Freq1-Freq2+1.0D+00 < Near ) then
  Z(1) = cmplx ( -1.0D+00, -epsilon(1.0D+00), 8 )
  M = M - 1
  ! new model order
end if
!--Solving of the linear equations system for complex amplitudes:
allocate ( TempCV(0:M-1), TempCM(0:M-1,1:M) )
TempCV(0) = F(0)
TempCM(0,:) = (1.0D+00,0.0D+00)
do L1 = 1, M-1
  TempCV(L1) = F(L1)
  do Mm = 1, M
    TempCM(L1,Mm) = TempCM(L1-1,Mm) * Z(Mm)
  end do
end do
call DLSSCG ( N=M, A=TempCM, B=TempCV, X=A, LDA=M, IPATH=1 )
deallocate ( TempCV, TempCM )
!--Procedure termination:
Number_Of_Harmonics = M
return
end function Number_Of_Harmonics

real (kind=8) function Harmonic_Frequency ( NHarm )
  use Constants
  use Global_Data
  integer (kind=4), intent(in) :: NHarm
  ! harmonic number
  if ( NHarm < 1 .or. NHarm > M ) then
    print *, 'Error: wrong harmonic number...'
    Harmonic_Frequency = 0.0D+00
    ! error
    return
  end if
  Harmonic_Frequency = atan2 ( imag(Z(NHarm)), real(Z(NHarm)) ) / Pi2
  return
end function Harmonic_Frequency

complex (kind=8) function Harmonic_Amplitude ( NHarm )
  use Constants
  use Global_Data
  integer (kind=4), intent(in) :: NHarm
  ! harmonic number
  if ( NHarm < 1 .or. NHarm > M ) then
    print *, 'Error: wrong harmonic number...'

```

```
        Harmonic_Amplitude = (0.0D+00,0.0D+00)    ! error
        return
    end if
    Harmonic_Amplitude = A(NHarm)
    return
end function Harmonic_Amplitude
```

ДОДАТОК В Презентація

Харківський національний університет радіоелектроніки
Кафедра МЕЕПП

Атестаційна робота магістра

ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТИВНИХ АЛГОРИТМІВ СПЕКТРАЛЬНОГО
АНАЛІЗУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ
НИЗЬКОЧАСТОТНОГО РАДІОТЕЛЕСКОПУ

Виконав:

студ. групи ЕППзм-19-1

Мясоєд Анатолій Іванович

Науковий керівник

професор Грицунов О.В

Розроб.	Мясоєд А.І			<i>Застосування адаптивних алгоритмів спектрального аналізу для підвищення роздільної здатності низькочастотного радіотелескопу</i>	
Перев.	Грицунов О.В.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				ЕППзм-19-1	Аркуш
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

1

СУЧАСНІ ПРИСТРОЇ ДОСЛІДЖЕННЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ



Космос манить і зачаровує своїми безкрайніми просторами. Космос прекрасний і одночасно лякає своєю невідомістю. Ще жодній людині не вдалося досконально досліджувати його, встановити межі безкрайніх просторів.

2

ВСТУП

ВСЕСВІТ - споконвічна загадка, що вабить нас своїми таємницями завжди. Бо немає кінця у пізнання. Є лише безперервне подолання кордонів невідомого. Але як тільки зроблений цей крок - відкриваються нові горизонти. А за ними - нові таємниці. Так було, і так буде завжди. Особливо в пізнанні Космосу. Слово «космос» походить від грецького "kosmos", синоніма астрономічного визначення Всесвіту.

- Історія телескопів - це історія їх суперництва, що почалася майже 400 років тому. У серпні 1609 року італійський професор математики Галілео Галілей, дізнавшись про винахід нідерландськими майстрами зорової лінзової труби він виготовив перший в світі телескоп. Ця подія мала для дослідників зоряного неба величезне значення. Телескопи відкрили для людей нескінченно різноманітний світ зірок.
- Людина постійно прагне до неба. Спочатку - думкою, поглядом і на крилах, потім - за допомогою повітроплавальних і літальних апаратів, космічних кораблів і орбітальних станцій. Про існування галактик ще в минулому столітті ніхто навіть не підозрював. Чумацький Шлях ніким не сприймався, як рукав гігантської космічної спіралі. Навіть володіючи сучасними знаннями, неможливо на власні очі побачити таку спіраль зсередини. Потрібно піти на багато-багато світлових років за її межі, щоб побачити нашу Галактику в її справжньому спіральному образі.
- Метою роботи є огляд, виявлення тенденцій, напрямків вдосконалення засобів вимірювання характеристик космічних об'єктів та розробка адаптивної програмної системи для підвищення роздільної здатності діаграми спрямованості радіотелескопа з фазованою антенною решіткою.

Розроб.	Мясоєд А.І			<i>Застосування адаптивних алгоритмів спектрального аналізу для підвищення роздільної здатності низькочастотного радіотелескопу</i>	
Перев.	Грицунов О.В				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				ЕПП _{зм} -19-1	Аркуш
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

3

СУЧАСНІ ПРИСТРОЇ ДОСЛІДЖЕННЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Оптичний діапазон



Великий бінокулярний телескоп

Телескоп має два параболічних дзеркала діаметром 8,4 м. Телескоп по своїй світлосилі еквівалентний телескопу з одним дзеркалом діаметром 11,8 м, збираючи випромінювання з площі 110 м², в результаті чого його роздільна здатність еквівалентна телескопу з одним дзеркалом діаметром 22,65 м.

4

СУЧАСНІ ПРИСТРОЇ ДОСЛІДЖЕННЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Оптичний діапазон



Космічний телескоп Hubble

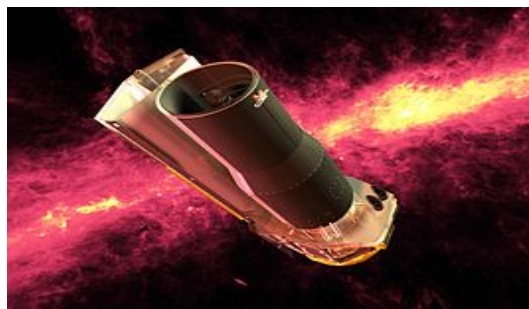
Телескоп, що знаходиться поза межами земної атмосфери, має, щонайменше, три переваги перед розташованим на Землі. Перше - на якість його зображення не впливає атмосферна турбуленція. Друге - йому доступний більш широкий діапазон електромагнітних хвиль - від ультрафіолетових до інфрачервоних. І, нарешті, третє - менше розсіювання світла за межами атмосфери робить можливим спостереження набагато слабших об'єктів

Розроб.	Мясоєд А.І			<i>Застосування адаптивних алгоритмів спектрального аналізу для підвищення роздільної здатності низькочастотного радіотелескопу</i>	
Перев.	Грицунов О.В.				
Н. контр.	Шевченко Н. С.				
				ЕПП _{ЗМ} -19-1	Аркуш
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

5

СУЧАСНІ ПРИСТРОЇ ДОСЛІДЖЕННЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Інфрачервоний діапазон



Космічний інфрачервоний телескоп Spitzer

Інфрачервоні телескопи дозволяють виявляти слабо нагріті об'єкти, наприклад, газові хмари або області зародження зірок. Важливою особливістю таких телескопів є те, що вони повинні піддаватися глибокому заморожуванню - для того, щоб власне теплове випромінювання не вносило перешкоди в приймається сигнал.

6

СУЧАСНІ ПРИСТРОЇ ДОСЛІДЖЕННЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Гамма діапазон



Гамма-телескоп Magic

Гамма-телескоп Magic-це система з двох наземних черенковських телескопів, що належать обсерваторії Роке-де-лос-Мучачос на острові Ла-Пальма. Вона призначена для реєстрації черенковського випромінювання від злив субатомних частинок, породжених гамма-квантами високих енергій (25 GeV - 30 TeV).

Характеристика телескопа - загальна маса 40 тон, рама зроблена вуглецевого волокна, збиральна площа 236 м², що складається з 956 окремих алюмінієвих відбивачів 50 × 50 сантиметрів.

Розроб.	Мясоєд А.І			<i>Застосування адаптивних алгоритмів спектрального аналізу для підвищення роздільної здатності низькочастотного радіотелескопу</i>	
Перев.	Грицунов О.В.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				ЕПП _{ЗМ} -19-1	Аркуш
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф.МЕЕПП	Аркушів

7

РАДІОТЕЛЕСКОПИ

Сучасний радіотелескоп - це цілий комплекс різних конструкцій, механізмів, вузлів і приладів. Головні його частини - антена для уловлювання електромагнітних хвиль, дуже чутливий радіоприймач, якому посилюється і обробляється отриманий сигнал, і вимірвальні пристрої, що служать для дослідження характеру і властивостей зафіксованого випромінювання. Одним з найбільш складних пристроїв радіотелескопу є антена система. Антена збирає енергію радіовипромінювання від небесного джерела і передає її приймальному пристрою. Чим більше лінійні розміри антени, тим більша величина енергії радіовипромінювання збирається антеною

8

РАДІОТЕЛЕСКОПИ МЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ДОВЖИНИ ХВИЛІ



Радіотелескоп Аресібо

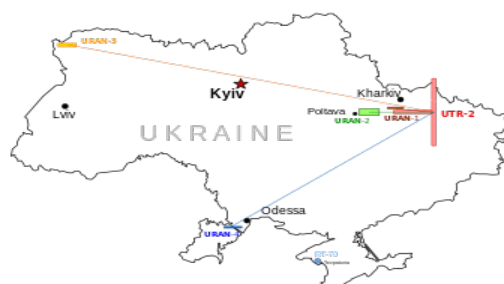
робочий діапазон довжин хвиль:
від 3 см до 1 м;
робочий діапазон радіочастот:
від 50 МГц до 10 ГГц;
фокусна відстань: 132,5 м;
форма дзеркала рефлектора:
сферична поверхня;
діаметр дзеркала рефлектора
304,8 м;
глибина дзеркала рефлектора:
50,9 м;
площа дзеркала приблизно 73
000 м²;

За допомогою "Аресібо" вчені проводять свої дослідження в таких галузях, як фізика атмосфери, радіоастрономія, радіолокаційні спостереження об'єктів Сонячної системи, а також в сфері пошуку розумного життя за межами Землі.

Розроб.	Мясоєд А.І			<i>Застосування адаптивних алгоритмів спектрального аналізу для підвищення роздільної здатності низькочастотного радіотелескопу</i>	
Перев.	Грицунов О.В				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				ЕПП _{ЗМ} -19-1	Аркуш
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф.МЕЕПП	Аркушів

9

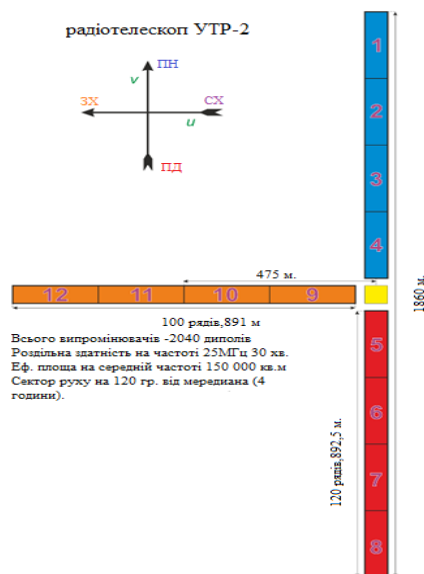
РАДІОТЕЛЕСКОПИ ДЕКАМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ДОВЖИН ХВИЛЬ



Схематичне зображення радіотелескопів УТР-2, ГУРТ, УРАН -1, УРАН -2, УРАН -3, УРАН -4

10

РАДІОТЕЛЕСКОП УТР-2



Радіотелескоп УТР-2, який до теперішнього часу є найбільшим і найбільш досконалим у світі інструментом декаметрового діапазону довжин хвиль

Розроб.	Мясоєд А.І			<i>Застосування адаптивних алгоритмів спектрального аналізу для підвищення роздільної здатності низькочастотного радіотелескопу</i>	
Перев.	Грицунов О.В				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				ЕПП _{ЗМ} -19-1	Аркуш
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф.МЕЕПП	Аркушів

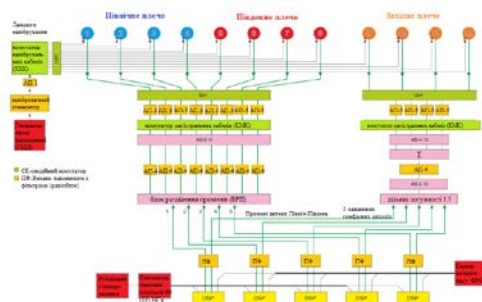
11

РАДІОТЕЛЕСКОП УТР-2

- велика ефективна площа (150000 м²);
- низький рівень бічних пелюсток;
- великий динамічний діапазон і стійкість;
- легко змінювана конфігурація, розвинена система контролю і надійність роботи;
- здатність працювати в безперервного смузі частот від 8 до 33 МГц;
- висока спрямованість в двох площинах при оптимальному узгодженні чутливості і роздільної здатності;
- швидка і оперативна зміна орієнтації променя в обох площинах за заданою програмою;
- здатність працювати одночасно п'ятьма променями. УТР-2 становить для астрономів великий інтерес. З одного боку, космічне випромінювання на більш низьких частотах із поверхні Землі спостерігати не можна через екрануючий вплив іоносфери, а з іншого — є безліч фізичних та астрофізичних явищ і процесів у космосі, які найяскравіше проявляються саме в цьому діапазоні радіохвиль.

12

РАДІОТЕЛЕСКОП УТР-2



Загальна схема радіотелескопа УТР-2

У УТР-2 використана побудована за тимчасовим принципом система управління променем антени, що складається з 439 фазообертачів з перемикаються кабельними лініями затримки. Ці фазообертачі розміщені в спеціальних колекторах.

Розроб.	Мясоєд А.І			<i>Застосування адаптивних алгоритмів спектрального аналізу для підвищення роздільної здатності низькочастотного радіотелескопу</i>	
Перев.	Грицунов О.В				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				ЕПП _{ЗМ} -19-1	Аркуш
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

13

РАДІОТЕЛЕСКОП ГУРТ



1 секція ГУРТ складається з 25 (5×5) активних турнікетних випромінювачів, розташованих у вузлах плоскої прямокутної координатної сітки з подвійною періодичністю. Дистанція між випромінювачами була обрана $d_i=3,75$ м, що відповідає половині довжини хвилі на частоті 40 МГц

14

РАДІОТЕЛЕСКОП ГУРТ

Для формування фазового розподілу і підсумовування сигналів в решітці був розроблений п'яти-входовий фазообертач Ф5-5. На кожну поляризацію необхідно мати шість фазообертачів, п'ять з них підсумовують і фазаує вібратори всередині рядів, а шостий - ряди. Фазування в ряду здійснюється щодо середнього вібратора.

При розробці фазообертач особливу увагу було приділено високій технологічності конструкції, малим габаритам, надійності. З цієї метою в якості ліній затримки ВЧ кабелі. Як комутатори електромеханічних реле типу .Спосіб фазування одного ряду і однієї поляризації вібраторів WA1 ... WA5 з дистанцією між вібраторами $d_i=3,75$ м. Фазообертач містить п'ять каналів, кожен з яких підключається до відповідного вібратора. Вихідні сигнали каналів підсумовуються рівно-амплітудним суматором 5-1.

Розроб.	Мясоєд А.І			<i>Застосування адаптивних алгоритмів спектрального аналізу для підвищення роздільної здатності низькочастотного радіотелескопу</i>	
Перев.	Грицунов О.В				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				ЕПП _{зм} -19-1	Аркуш
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів

15

МОДЕЛЬ АВТОРЕГРЕСІЙНОГО ПРОЦЕСУ (AR)

Загальне рівняння цифрового каузального фільтра:

$$f_l = -\sum_{m=1}^{M_a} a_m f_{l-m} + \sum_{m=0}^{M_b} b_m x_{l-m} = \sum_{m=0}^{\infty} h_m x_{l-m}$$

вність потужності аналізованс

$$G_{AR}(\omega) = \frac{1}{\left| 1 + \sum_{m=1}^{M_a} a_m e^{-im\omega\Delta t} \right|^2} \rho_w \Delta t$$

x – вхідна функція;

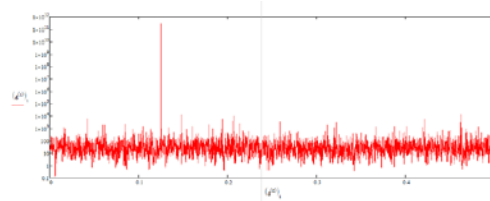
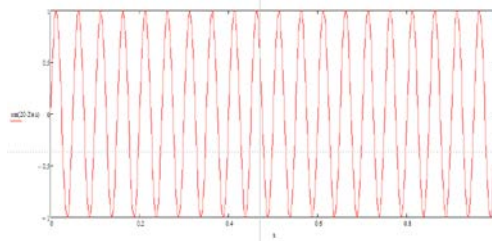
\mathbf{a} і \mathbf{b} – вектори коефіцієнтів рекурсивного і трансверсального фільтрів порядку M_a і M_b відповідно;

\mathbf{h} – імпульсна характеристика об'єднаного фільтра;

ρ_w – дисперсія білого шуму

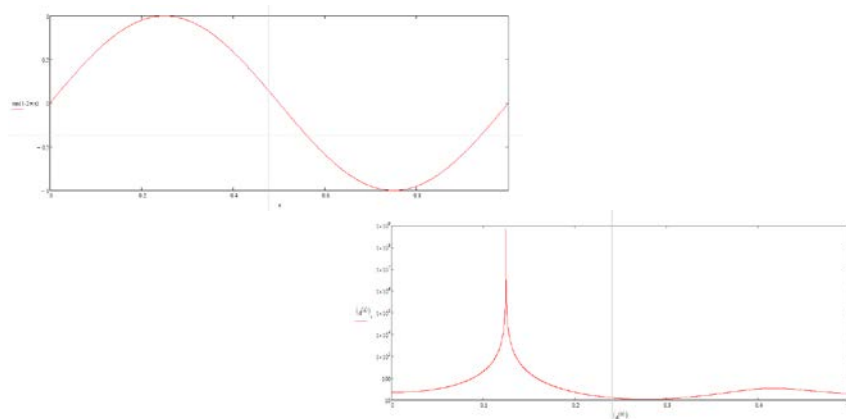
16

ВХІДНИЙ СИГНАЛ ПРИ ВІДНОШЕННІ АПЕРТУРИ АНТЕНИ ДО
ДОВЖИНИ ХВИЛІ 20 ТА ЙОГО СПЕКТР, ОТРИМАНИЙ ЗА ДОПОМОГОЮ
AR-МОДЕЛІ ВИСОКОГО ПОРЯДКУ



Розроб.	Мясоєд А.І			<i>Застосування адаптивних алгоритмів спектрального аналізу для підвищення роздільної здатності низькочастотного радіотелескопу</i>	
Перев.	Грицунов О.В				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				ЕПП _{ЗМ} -19-1	Аркуш
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф.МЕЕПП	Аркушів

17 ВХІДНИЙ СИГНАЛ ПРИ ВІДНОШЕННІ АПЕРТУРИ
АНТЕНИ ДО ДОВЖИНИ ХВИЛІ 1 ТА ЙОГО СПЕКТР,
ОТРИМАНИЙ ЗА ДОПОМОГОЮ AR-МОДЕЛІ
НИЗЬКОГО ПОРЯДКУ



18

ВИСНОВКИ

В результаті виконання атестаційної роботи проаналізовано сучасні засоби вимірювання характеристик космічних об'єктів, зокрема телескопів та радіотелескопів. Зроблено опис і аналіз характеристик телескопів оптичного, інфрачервоного, рентгенівського та гамма-діапазону.

Розглянуто побудову та принцип роботи українських радіотелескопів декаметрового діапазону УТР-2 и ГУРТ, які вони мають переваги перед зарубіжними аналогами.

Розроблено алгоритм модифікованого коваріаційного методу для програмного розширення апертури приймальної антени та підвищення роздільної здатності діаграми спрямованості радіотелескопа. Проведено випробування алгоритму з різними порядками моделі. Результати показали суттєву ефективність авторегресійних методів для поліпшення параметрів та характеристик існуючих та перспективних радіотелескопів.

Результати роботи можуть бути корисні для інженерів, що займаються проектуванням широкосмугових фазованих антенних решіток ВЧ/НВЧ діапазонів.

Розроб.	Мясоєд А.І			<i>Застосування адаптивних алгоритмів спектрального аналізу для підвищення роздільної здатності низькочастотного радіотелескопу</i>	
Перев.	Грицунов О.В.				
Н. контр.	Шевченко Н. Є.				
				ЕПП _{ЗМ} -19-1	Аркуш
Затв.	Бондаренко І. М.			ХНУРЕ, каф. МЕЕПП	Аркушів